

Fakulta strojního inženýrství  
Ústav konstruování / Odbor ...

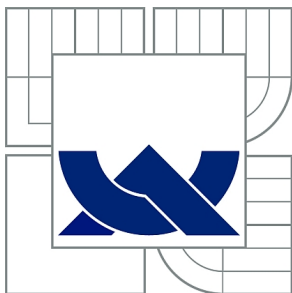
Faculty of Mechanical Engineering  
Institute of Machine and Industrial Design / Department of ...

**Název práce, maximálně  
tří-řádkový, vertikálně  
středěný ke stránce**

[Typ práce]  
[Thesis Type]

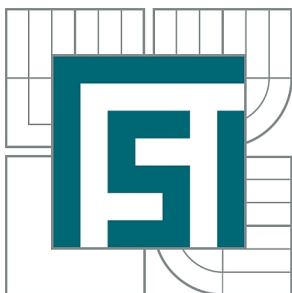
Autor práce: **tituly Jméno Příjmení, tituly**  
Author





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN MOBILNÍHO RENTGENU

DESIGN OF MOBILE X-RAY SCANNER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL STEJSKAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. LADISLAV KŘENEK,  
Ph.D.

BRNO 2013





Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/13

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Stejskal

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Průmyslový design ve strojírenství (2301T008)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Design mobilního rentgenu**

v anglickém jazyce:

### **Design of Mobile X-Ray Scanner**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza a návrh designu mobilního rentgenu. Návrh musí splňovat obecné předpoklady průmyslového designu -respektovat funkční, konstrukční, technologické, estetické a ergonomické zákonitosti.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je vytvořit design mobilního rentgenu.

Diplomová práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Vývojová, technická a designérská analýza tématu
2. Variantní studie designu
3. Ergonomické řešení
4. Tvarové (kompoziční) řešení
5. Barevné a grafické řešení
6. Konstrukčně-technologické řešení
7. Rozbor dalších funkcí designérského návrhu (psychologická, ekonomická a sociální funkce).

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, sumarizační poster, designérský poster, ergonomický poster, technický poster, model

Výstup RIV: funkční vzorek

Seznam odborné literatury:


DREYFUSS, H. - POWELL, E.: Designing for People. New York : Allworth, 2003.  
JOHNSON, M.: Problem solved. London : Phaidon, 2002.  
NORMAN, D. A.: Emotional Design. New York : Basic Books, 2004.  
TICHÁ, J., KAPLICKÝ, J.: Future systems. Praha : Zlatý řez, 2002.  
WONG, W.: Principles of Form and Design. New York : Wiley, 1993.  
Časopisy: Design Trend, Designum, Form, ID, Idea magazine ap.

Vedoucí diplomové práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 15.11.2012



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

---

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá vytvořením designu mobilního nemocničního rentgenu. Na základě provedených analýz jsou navrženy tři variantní studie designu, ze kterých je následně vybrána a detailně rozpracována finální varianta. Při návrhu jsou zohledňovány ergonomické a technické požadavky s cílem vytvořit přístroj, který by se oprostil od příliš technického vzhledu a byl tak přívětivější k pacientovi. Zjednodušení a zpřehlednění ovládacích prvků zároveň přinese usnadnění práce pro obsluhu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mobilní rentgen, nemocnice, design, diagnostické zobrazování

## **ABSTRACT**

Master thesis deals with creating a new design of mobile x-ray machine. Three studies of design were created on the base of processed analysis, when the best one were chosen and developed as a final design. The final design takes into account all ergonomics and technical requirements and creates a machine with less technical and more favorable view for patients. Simplification and better arranged the control panels bring easier service for operators.

## **KEYWORDS**

Mobile x-ray unit, hospital, design, diagnostic imaging

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

STEJSKAL, P. Design mobilního rentgenu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 76 s. Vedoucí diplomové práce doc. akad. soch. Ladislav Křenek, Ph.D..



## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI**

---

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním dílem na kterém jsem samostatně pracoval. Veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal jsou uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 26.5.2013

.....  
Pavel Stejskal



## PODĚKOVÁNÍ

---

V první řadě bych zde chtěl poděkovat dvě rodině, za podporu po celou dobu studia. Dále bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. aka. soch. Ladislavu Křenkovi, ArtD za podnětné rady během konzultací. Velké díky také patří celému kolektivu spolužáků za výpomoc a podporu. Děkuji také Radkovi Burianovi za poskytnutí pomoci při renderování. Dále potom panu Mgr. Martinovi Bučkovi z radiologického oddělení brněnské fakultní nemocnice v Bohunicích za věcné rady.





## OBSAH

<b>ABSTRAKT</b>	<b>7</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>7</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b>	<b>7</b>
<b>PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI</b>	<b>9</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b>	<b>11</b>
<b>OBSAH</b>	<b>13</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>15</b>
<b>1 VÝVOJOVÁ ANALÝZA</b>	<b>17</b>
1.1 Objev rentgenových paprsků	17
1.2 Vývoj rentgenových přístrojů	18
1.2.1 Rentgenky a detekce záření	20
1.2.2 Informační technologie v radiologii	21
<b>2 TECHNICKÁ ANALÝZA</b>	<b>23</b>
2.1 Schéma přístroje	23
2.1.1 Rentgenka	23
2.1.2 Kolimátor	24
2.1.3 Generátor	25
2.2 Detektory	25
2.2.1 Flat-panel technologie	25
<b>3 DESIGNERSKÁ ANALÝZA</b>	<b>27</b>
3.1 Carestream	27
3.2 GE Healthcare	28
3.3 Philips	29
3.4 Schimadzu	30
3.5 Siemens	31
3.6 Toshiba	33
<b>4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU</b>	<b>34</b>
4.1 Proces návrhu	34
4.2 Varianta I	36
4.3 Varianta II	37
4.4 Varianta III	38
<b>5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>41</b>
5.4.1 Fyzikální a smyslové zařízení	41
5.4.2 Vjemové a poznávací schopnosti	41
5.1 Ergonomická kategorie	41
5.2 Ovládání pohybu přístroje	42
5.3 Nastavení přístroje do pracovní polohy	43
5.4 Vytváření a zpracování snímku	44
<b>6 TVAROVÉ (KOMPOZIČNÍ) ŘEŠENÍ</b>	<b>46</b>
6.1 Designérský přístup	46
6.2 Tvarové řešení	46
<b>7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>50</b>
7.1 Barvy	50
7.2 Grafika	52

---

7.2.1	Název a logotyp	53
<b>8</b>	<b>KONSTRUKČNĚ - TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>54</b>
8.1	Rozměry	54
8.2	Rozvržení a rozbor komponent	54
8.2.1	Rentgenka	55
8.2.2	Kolimátor	55
8.2.3	Generátor (transformátor)	56
8.2.4	Detektor	56
8.2.5	Zarovnání rentgenky s detektorem	57
8.2.6	Dálkový ovladač	57
8.2.7	Madlo	57
8.2.8	Dotykový displej	58
8.2.9	Datové výstupy	58
8.2.10	Podvozek	59
8.3	Konstrukce a materiály	59
<b>9</b>	<b>ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU</b>	<b>61</b>
9.1	Psychologická funkce	61
9.2	Ekonomická funkce	61
9.3	Sociální funkce	62
	<b>ZÁVĚR</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>74</b>

## ÚVOD

---

Objev rentgenových paprsků znamenal převratný objev v oblasti stanovování lékařské diagnózy. Od jeho objevu už uplynulo přes sto let, ale stále patří tato zobrazovací metoda mezi nejpoužívanější. Za tu dobu prošel přístroj samotný mnoha obměnami. Jedním z největších pokroků bylo dosaženo s příchodem výpočetní techniky a to v oblasti snímání rentgenových snímků (přímá digitalizace snímků) a jejich následného zpracování (např. vytváření obrazu pomocí počítačové tomografie).

Tato diplomová práce se zabývá designem mobilního rentgenového přístroje, který je určen pro snímání pacientů, kterým jejich zdravotní stav nedovoluje podrobit se vyšetření v radiologických místnostech. Tento mobilní rentgen je určen pro práci v nemocnicích. Snímky jsou okamžitě digitalizovány a mohou být obsluhou kontrolovány přímo na přístroji po provedení expozice. Dále jsou snímky zpracovávány nemocničním informačním systémem.



## 1 VÝVOJOVÁ ANALÝZA

1

### 1.1 Objev rentgenových paprsků

1.1

Objev rentgenových paprsků se připisuje německému fyzikovi Wilhelmovi Conradu Röntgenovi, který za svůj objev dostal v roce 1901 Nobelovu cenu za fyziku. Samotný objev se uskutečnil dne 8. listopadu 1895 během experimentů s různými druhy katodových trubice (Leonardovou a Crookovou) v laboratořích fyzikálního institutu Würzburgské univerzity. Šťastnou náhodou byla jedna z lepenek ležících blízko záření vystavené trubce, pokryta fluorescenčním materiálem a během experimentu se viditelně rozzářila. Během dalších experimentů Röntgen objevil, že paprsky prostupují nejenom černým papírem, ale také dřevem a dalšími materiály. Nejdůležitější objev ale vznikl poté, co položil svoji ruku mezi zdroj paprsků a světélkující desku - zjistil, že na rozdíl od masa, které je velmi dobře prostupné, kosti naopak paprsky pohlcují. [1]



Obr. 1-1 Jeden z prvních z rentgenových snímků

Přístroj, který Röntgen použil během svého objevu, byl snadno dostupný, a experiment tak mohl být jednoduše zopakován. Prvotní rentgenový přístroj byl zkonstruován Williamem Crookem (1832 - 1919). Sestával se z rentgenky skládající se ze skleněné trubice, ve které bylo částečné vakuum. Na jedné straně byla upevněna anoda. Z katody na opačné straně se uvolňovaly elektrony narážející do anody, která poté emitovala rentgenové paprsky. Herbert Jackson z Londýnské King's College modifikoval tuto trubici a vytvořil katodu ve tvaru mísy, která produkovala lépe zaostřované elektrony. Anoda byla vyrobena z platiny. Takto modifikovaná Jacksonova trubice byla značným pokrokem ve vylepšení obrazové kvality snímku díky redukci velikosti zaostřovací plochy vystupujících rentgenových paprsků. Tento přístroj byl představen na vědeckých a lékařských setkáních a téměř okamžitě poté byl uveden pro klinické použití (soudě podle případu popsaneho v British Medical Journal v roce 1896). [10]

## 1.2 Vývoj rentgenových přístrojů

Vývoj rentgenových přístrojů od objevu paprsků postupně přinášel nové vylepšení a nemocnice si začaly pořizovat tento druh vybavení. Většina rentgenových oddělení v této době byla nicméně umístěna ve sklepech nebo přízemích a tyto prostory byly špatně větrány s velkou vlhkostí vzduchu. Tato vlhkost byla velkým problémem, který značně ztěžoval průchod elektrického proudu skrz rentgenku. První hodina každého dne v nemocnici byla obvykle strávena vysoušením přístroje.



Obr. 1-2 rentgen Waite & Barlett (1916-1918)

Zajištění elektrického proudu byl mnohdy také velký problém. Například v Londýnské královské nemocnici nebyl v roce 1897 zaveden elektrický proud a napájení rentgenového vybavení bylo prostřednictvím baterii (tzv. Groove cells). [10]

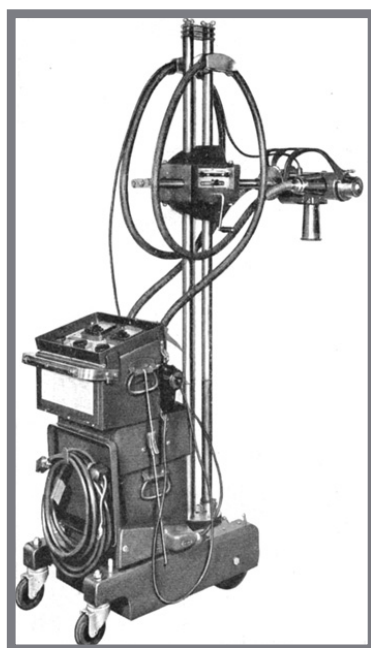


Obr. 1-3 zubařský rentgen z roku 1930 (navrhl Dr Waite)



Obr. 1-4 rozložený polní rentgen

Důležitým krokem ve vývoji mobilních rentgenů byl objev tzv. horké neboli Coolidge katody vyvinuté Dr. W. D. Coolidgem. První komerční použití této katody bylo v rentgenu vytvořeném pro účely americké armády firmou Waite & Barlett. Tento rentgen byl navržen Dr. Harry Waitem a byl používán americkými expedičními silami v Evropě během první světové války v letech 1916 - 1918.[4]



Obr. 1-5 složený polní rentgen

Po uvedení horké katody v roce 1920 si Dr. Waite nechal patentovat konstrukci uložení katody s transformátorem vysokého napětí v izolačním oleji. Díky tomuto patentu byla výrazně zvýšena bezpečnost pacientů a techniků, kteří byli do té doby vystavováni nebezpečí úrazu elektrickým proudem (napětí mohlo dosáhnout až 150 000 V). Tento patent byl použit v zubařském rentgenu také navrženém Dr. Harry Waitem v roce 1930. [4]

Roku 1930 přešla Waite & Barlett company pod Picker corporation a takto nově vzniklá firma se začala věnovat z důvodu vzrůstající hrozby druhé světové války vývoji

rentgenových přístrojů pro vojenské účely. Výsledkem byl modulární systém polního rentgenového přístroje, který se dal složit do tří beden, a doba sestavení byla do pěti minut. Součástí přístroje byl i box na vysušování a skladování kazet se snímky. [3]



Obr. 1-6 Mobilett XP digital od firmy Siemens

Dalším pokrokem především ve zpracování rentgenových snímků bylo uvedení tzv. Picker Polaroid Processing Unit, která vycházela ze známého fotoaparátu firmy Polaroid. Tento způsob zpracování snímků byl poprvé použit v roce 1950 během války ve Vietnamu. [4]

V roce 1982 začala německá firma Siemens vyrábět mobilní rentgeny Mobilett s vysokofrekvenčním generátorem, který se dal připojit do elektrické sítě přes běžnou zásuvku. V roce 2004 byl vytvořen první digitální mobilní rentgen Mobilett XP digital využívající technologie flat-panel detektoru. Díky vestavěnému displeji, který umožňuje okamžitý náhled snímku a jeho další zpracování přes nemocniční síť Dicom, se výrazně zkracuje čas expozice (vystavení pacienta rentgenovému záření), a zdoluhavé zpracování dřívějších kazet v temných místnostech. Tento rentgenový přístroj má také spoustu možností uplatnění (pediatrie, ortopedie, traumatologie). Mohou se vytvářet snímky pacientů na stole, na nosítkách nebo přímo na lůžku. [5]

---

### 1.2.1 Rentgeny a detekce záření

Rentgeny vycházejí z katodových trubíc - Crookova, Hittorfova trubice - pojmenované podle fyziků 19. století, kteří zkoumali elektrické výboje skrz sklo. Jednoduchá Crookova trubice měla válcový tvar se dvěma elektrodami a malou boční trubicí, která se dala připojit na pumpu pro odsátí vzduchu a vytvoření vakua. Disk katody (z hliníku nebo ze slitiny hliníku) je podepřen malou tyčkou (obvykle z platiny). Pro zajištění vzduchotěsnosti byla použita zátka z kovu o stejném koeficientu roztažnosti jako sklo. Na obložení kolem katodové tyčky byla použita platina obvykle zesílená vodivým sklem. Anoda byla podepřena hliníkovou tyčkou umístěnou na libovolném místě obvykle ale v malém trubkovitém výstupku ve skle.



Při svém objevu rentgenových paprsků v roce 1895 použil W. Röntgen právě katodovou trubici podobnou Crookově trubici. Ve svých poznámkách Röntgen uvádí, že na základě jeho zkušeností je nejlepším kovem pro generování nejefektivnějšího rentgenového záření platina. Jako katodu potom používá konkávní zrcadlo z hliníku s platínovou fólií, které je vůči ose anody nakloněno o  $45^\circ$ . Jako první dvě velká vylepšení konstrukce katodových trubic bylo uvedení kovového terče a zaostřovací trubice. [1]

Plynové trubice byly velmi složité na ovládání a kladly velké nároky na schopnosti operátora. Především musela být správně vysušena a během používání musela být pod stálým dohledem udržována v tomto stavu.

V roce 1913 byla uvedena Coolidgeho trubice, která přinesla značné vylepšení. Zde mohl být z celé skleněné baňky kompletně vyčerpán vzduch a elektrony byly uvolňovány ze žhavené katody ve tvaru spirály. Tato rentgenka dávala daleko více konstantní výsledky a při nastavování parametrů bylo možné nezávisle určit hodnoty proudu a napětí.

Do roku 1930 byly kabely přivádějící velmi vysoké napětí na rentgenky prakticky nechráněné a způsobovaly tak velké nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Ve třicátých letech dvacátého století byl uveden ochranný obal izolující rentgenku před nebezpečím elektrického proudu. V roce 1924 byla uvedena trubice Metalix firmy Philips, která přinesla vylepšený způsob zaostřování. V roce 1929 byla na trh uvedena první rentgenka s rotační anodou Rotalix.



Obr. 1-7 rentgenky používané v letech 1895 - 1896

Detekce rentgenového záření byla zpočátku prováděna pomocí skleněných fotografických desek umístěných v tenkých kazetách. Fotografické desky byly z jedné strany natřeny emulzí. V roce 1918 byly uvedeny filmové kazety, avšak používání skla bylo natolik zavedené, že se filmové kazety začaly používat až v roce 1923. Filmové desky byly vyrobeny z celuloidu a bylo je možné na rozdíl od desek skleněných natírat emulzí z obou stran. Zvolený materiál byl ale velmi hořlavý a proto roku 1924 byl uveden film z bezpečnějšího acetátu celulózy.

### 1.2.2 Informační technologie v radiologii

Na začátku sedmdesátých let 20. století udělala diagnostická radiologie obrovský krok kupředu objevem techniky snímkování po vrstvách a vyvinutím počítačové tomografie (CT). Dřívější mechanické tomografy byly používány pouze k omezeným druhům účelu, ale nyní zde byla úplně nová technologie, která přinášela snímky jako řezy lidským tělem. První CT skener, který vymyslel Geoffrey Hounsfield z EMI ltd. v Anglii, mohl být použit pouze pro vytvoření snímku hlavy a zatímco se rentgenka se snímačem mechanicky otáčela kolem hlavy, musel pacient umístit svoji hlavu do vodní koupele. Mechanické části byly rychle vylepšeny a nahrazeny elektronickými. Brzo mohl kruh rentgenek a snímačů pořídit jakýkoliv příčný snímek těla během sekund a matematické algoritmy mohly vykreslit čistý a ostrý snímek z milionu bitů informací.

Vývoj za posledních deset let přinesl vícezdrojové a multidetektorové snímače a duální CT skenery. Nové technologie detektorů a procesy rekonstrukce snímků pomohly zvýšit obrazovou kvalitu. Více než 30% CT skenů jsou v dnešní době skeny hrudníku, při kterých je použito spirální CT s vysokým rozlišením pro zobrazení chronických intersticiálních procesů v plicích a umožňuje zavedení bolusu se zobrazitelnými kontrastními látkami při technice zvané plicní angiografie. Ačkoliv základ zobrazování na CT spočívá v diagnostikování tumorů (nádorů), má své uplatnění i při vyšetřování kostí, při které je dostupná 3D vizualizace s vynikajícím vysokým rozlišením. [1]

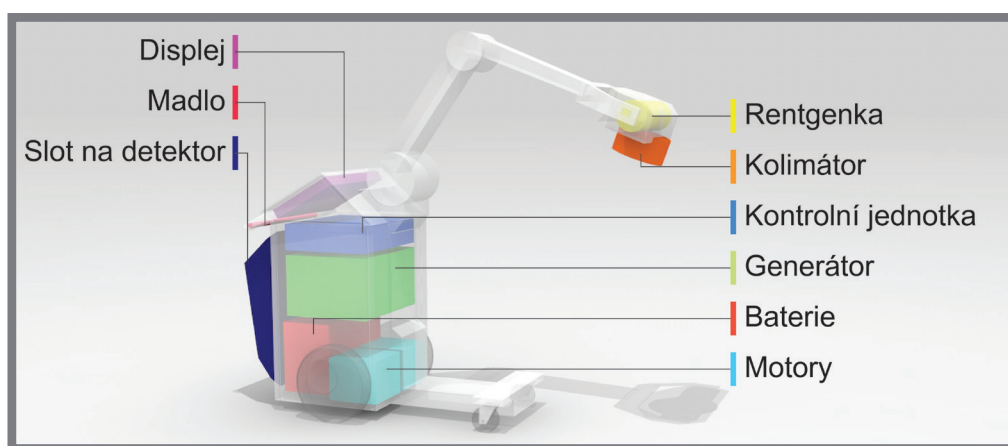
## 2 TECHNICKÁ ANALÝZA

1

### 2.1 Schéma přístroje

2.1

Nezbytnými komponenty pro produkci rentgenového záření jsou rentgenka a generátor napětí (vysokonapěťový transformátor). Rentgenka generuje rentgenové paprsky, zatímco generátor poskytuje zdroj vysokého napětí a uživatelskou kontrolu nad dodáváním energie do rentgenky. Napětí generované transformátorem je uchováváno v kapacitorech pro okamžité použití v rentgence. Nastavování potřebných parametrů se provádí pomocí dotykového displeje (v horní části přístroje nebo přímo na hlavě s rentgenkou). Pohyb přístroje je zajištěn dvěma nezávislými elektromotory (pro každé zadní kolo zvlášť). Napájení motorů obstarávají baterie dobíjené přes kabel ze zásuvky. Motory (tedy pohyb přístroje) bývají ovládány madlem v zadní části přístroje pod displejem. Detektor rentgenového záření pro přímou digitální detekci může být s přístrojem propojen kabelem nebo bezdrátově. V obou případech je během převozu ukládán do odkládacího slotu. V případě bezdrátového detektoru slouží odkládací slot také k nabíjení jeho baterií.



Obr. 2-1 schéma rentgenu

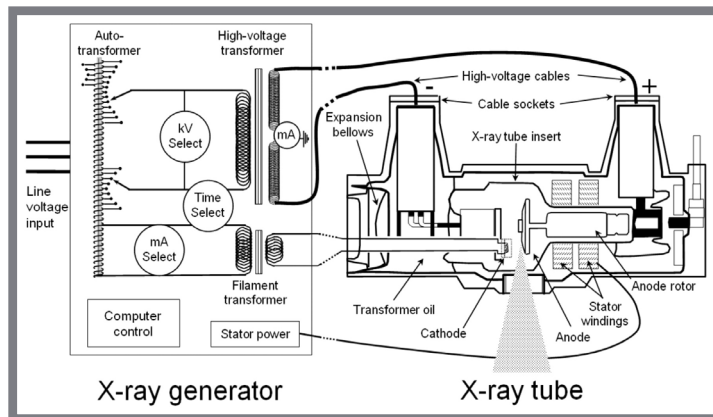
#### 2.1.1 Rentgenka

2.1.1

Rentgenka se skládá ze základních komponent - dvou elektrod, katody a anody. Ty jsou uloženy ve skleněné nebo kovové nádobě vyplněné vakuem a od sebe jsou vzdáleny kolem jednoho až dvou centimetrů. Na katodu a anodu jsou napojené kabely záporného a kladného napětí z generátoru. Oddělený, izolovaný obvod spojuje katodové vlákno (cívka podobná drátku v žárovce) s nízkonapěťovým zdrojem energie. Anoda je ve většině diagnostických rentgenkách vyrobena z wolframu, především pro jeho vysoké atomové číslo ( $Z=74$ ) a extrémně vysoký bod tání - nezbytný pro efektivní produkci rentgenového záření.

Dva hlavní konstrukční typy anod se dělí na pevné anody sestávající z jednoduché geometrie nebo rotující anody, které jsou tvarově více propracované. Nejpoužívanějším typem je konstrukce rotující anody, zahrnující wolframový disk uložený v ložiskách uprostřed rotoru a to celé uvnitř skleněné nádoby rentgenky. Vně skleněné nádoby se

nachází vinutí statoru. Rotor a stator zahrnuje indukční motor, který rotuje anodovým diskem úhlovou frekvencí 3 000 nebo 10 000 otáček/min. Rotace anody poskytuje v porovnání s pevnou anodou větší oblast, po které je rozprostřeno teplo a anoda je tedy schopna během stejného časového úseku produkovat více fotonů.

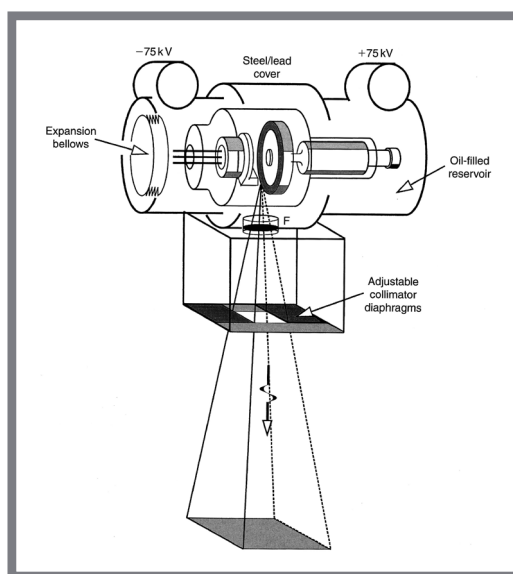


Obr. 2-2 schéma rentgenky a generátoru

Zaostřovací bod rentgenky je oblast elektronového rozptylu rentgenových paprsků z povrchu terče. Typické rozměry jsou o nominální velikosti od 1,0 do 1,2 mm (velké) a od 0,3 do 0,6 mm (malé). Velikost zaostřovacího bodu je dána úhlem, pod jakým je nakloněna (zkosená) anoda. Úhel zkosené plochy anody má pevnou hodnotu danou ve výrobě a bývá v rozsahu od  $7^\circ$  do  $20^\circ$ . [7]

### 2.1.2 Kolimátor

Rentgenové paprsky jsou nicméně v slabé míře emitovány ve všech směrech od anody a musejí být ztlumeny. Ochrana před proniknutím radiace je poskytnuta štítovým pouzdem, které tyto paprsky absorbuje. Na výstupu z rentgenky je umístěn kolimátor složený z pohyblivých klapek a slouží k usměrnění paprsků.



Obr. 2-3 schéma rentgenky s kolimátorem

Kolimátor bývá podsvícen světlem nebo laserovým paprskem, který zobrazuje “virtuální” ohnisko, osvětluje plochu, na které bude snímek vytvořen a pomáhá tak při umístění rentgenky. [7]

### 2.1.3 Generátor

2.1.3

Ovládání rentgenky je prováděno nastavováním parametrů na generátoru. Potenciálního napětí v kilovoltech (kV), proudu v miliampérech (mA) a času expozice v sekundách (s). Vysoké napětí je získáno pomocí “set-up” transformátoru. Jednoduché transformátory se skládají ze dvou elektricky izolovaných primárních a sekundárních cívek, každé opačně vinuté kolem železného jádra s určitým počtem otáček. Střídavé napětí a proud je použit na primární vinutí, přidružená změna magnetického pole prostupuje železným jádrem a indukuje elektromotorickou sílu (napětí) na sekundární cívkce. Sekundární amplituda napětí je úměrná poměru primárního/sekundárního vinutí. U „step-up“ transformátoru je pro 1 000 otáček na sekundární cívkce a 1 otáčky na primární cívkce vstupní napětí zesíleno faktorem 1 000 (a proud je redukován stejným faktorem k udržení stejné energie). Podobně má “step-down” transformátor větší počet otáček na primární cívkce než na sekundární cívkce a výstupní napětí je redukováno. Vysokonapěťové “step-up” transformátory jsou používány pro dodávání napětí do rentgenky a nízkoeenergetické “step-down” transformátory se používají pro dodávání energie na obvody v generátorech. Třetím typem transformátoru je autotransformátor. Ten je používán v rentgenových generátorech, které umožňují volbu napětí v inkrementálně menším měřítku, obvykle v řádech voltů a je součástí obvodu, který ovládá vstup napětí do vysokonapěťového transformátoru. [7]

## 2.2 Detektory

2.2

Detektory pro snímání rentgenového záření používají dvě základní technologie - Flat panel (FD) nebo CCD-matrice.

Pod kategorií FD technologie spadají další dvě skupiny:

- matrice tenkého pole tranzistorů pokryté amorfním selenem,
- matrice křemíkových fotodiod (aSi:H) spojených do sítí - cesium-iodine [CsI(Tl)] nebo gadolinium Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S.

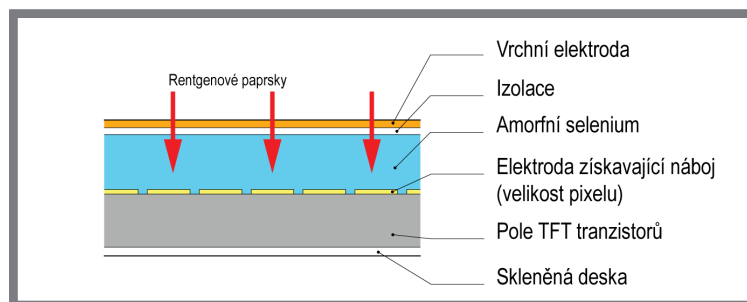
Poměrná efektivita FD panelů je vyšší než u detektorů s CCD maticí z důvodu větších ztrát světelné energie během přenosu světla z obrazovky na fotodiodovou mřížku. Nicméně CCD-maticový detektor má několik výhod oproti FD technologii. Rozlišení může být upraveno pro určité použití. CCD-matrice s rozlišením 4000x4000 pixelů může být použita jako matrice 1000x1000 pixelů - tedy rozlišení může být zvětšeno optickým přiblížením. Rentgenový obraz může být rozdělen do několika zón a každá může být přenášena vlastní CCD-maticí.

Detektory na principu CCD-matic mají větší životnost než FD panely z důvodu vystavení FD panelů radiačnímu záření - CCD-maticové detektory mohou být posunuty mimo radiační záření pomocí soustavy zrcadel. V nemocničních podmínkách je nemožné provést opravu FD panelu - oproti tomu oprava detektoru s CCD-maticí spočívá v pouhé výměně některého z komponent.[8]

### 2.2.1 Flat-panel technologie

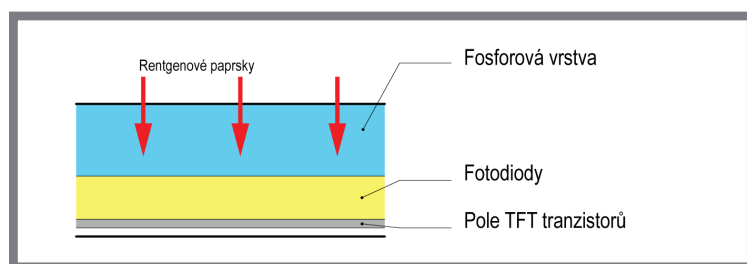
Princip konstrukce flat-panel detektorů (FPD) je založena na a-Si thin-film tranzistorech (TFT), které jsou vyskládány po řádkách a sloupcích do pole. Každý element je složen z jednoho TFT, náboj získávající (CC) elektrody a kapacitoru. Propojení každého elementu přes TFT a kapacitor je vytvořeno pomocí “gate” a “drain” spojů. Během expozice rentgenové záření působí na CC elektrodu, která produkuje odpovídající elektrický náboj a ten je “uskladněn” v lokálním kapacitoru. Poté, co je rentgenové záření ukončeno, jsou po “gate” spojích aktivovány všechny TFT v jednom řádku, kde elektrický náboj putuje z lokálních kapacitorů po “drain” spojích skrz tranzistory do výstupních zesilovačů pro každý sloupec. Poté dochází k digitalizaci a vytváření snímku po řádkách. Deaktivace “gate” spoje způsobí resetování TFT v tomto řádku a připravení pro další expozici a aktivuje přilehlý “gate” spoj. Takto - řádek po řádku, proces pokračuje, dokud není zanalyzováno celé pole. Tyto “gate” a “drain” spoje vytvářejí spolu se samotným TFT a kapacitorem tzv. “dead area”, tedy oblast, která není využita pro detekování záření

Existují také významné rozdíly v detekci rentgenového záření a konverzi signálu. Nepřímé detektory používají fosfor (scintilátor) k absorbování rentgenových paprsků a vyprodukování odpovídajícího množství světelných fotonů, které působí na fotodiodu v TFT poli, která vytváří odpovídající náboj následně “uskladněný” v elementárním kapacitoru. Fosfor je buď nestrukturovaný, jako je gadolinium oxysulfid ( $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ ), nebo strukturovaný, jako je cesium iodid ( $\text{CsI}$ ).



Obr. 2-4 řez detektorem pro přímou detekci

Přímé detektory používají polovodiče umístěné mezi dvěma elektrodami k vstřebání a konverzi rentgenové energie přímo na elektrony a kladně nabitě částice. Amorfní selenium (a-Se) je v případě přímých detektorů jediné použitelné.



Obr. 2-5 řez detektorem pro nepřímou detekci

Výhody přímé konverze FPD spočívají v jednodušší TFT struktuře (nejsou potřeba žádné fotodiody, ale pouze elektroda, která se nabije elektrickým nábojem) a vysokého vnitřního prostorového rozlišení dosaženého aktivními páry iontů pod vysokým napětím s minimálním vnitřním rozptylem (který snižuje výsledné rozlišení). Nevýhodou je uchovávání zůstatkového náboje v a-Se absorberu, který snižuje efektivitu vstřebávání, prodlužuje uchovávání signálu, způsobuje delší odezvu a to může mít za následek poškození přebitím TFT v detektorovém elementu, způsobené při vysokých rentgenových expozicích.[9]



### 3 DESIGNERSKÁ ANALÝZA

#### 3.1 Carestream

Carestream Health, Inc. je americká firma zabývající se vývojem a výrobou technologií v oblasti diagnostického zobrazování. Stěžejním produktem v kategorii mobilních radiografických přístrojů je mobilní rentgen CARESTREAM DRX - revolution.

Přístroj se skládá ze dvou hlavních částí - těla rentgenu a ramene s rentgenkou. Rameno je konstrukčně řešené jako teleskopické (plně automaticky nastavitelné), upevněné k tělu rentgenu otočnou podstavou. Pohyb přístroje je zajištěn pomocí čtyř kol. Zadních kol, které tvoří dominantní prvek celého tvarového pojetí (navíc umocněný barevným akcentem), a od kterých se odvíjí následný profil přístroje v podobě křivky tvořící jeho boční hranu, která opisuje mírně organický tvar a respektuje kruhový tvar kola. Podstava teleskopického ramene je potom umístěna nad dvojicí menších otočných kol. Z hlavní hmoty těla rentgenu vychází v zadní části madlo sloužící jako ovladač pro elektromotory zajišťující pohyb přístroje. Hmoty přístroje je soustředěna nad zadní nápravu a tím (nejen opticky) vyvažuje přístroj, který potřebuje hmotnou základnu z důvodu vysunovacího ramene s rentgenkou, jejíž hmotnost není zanedbatelná.

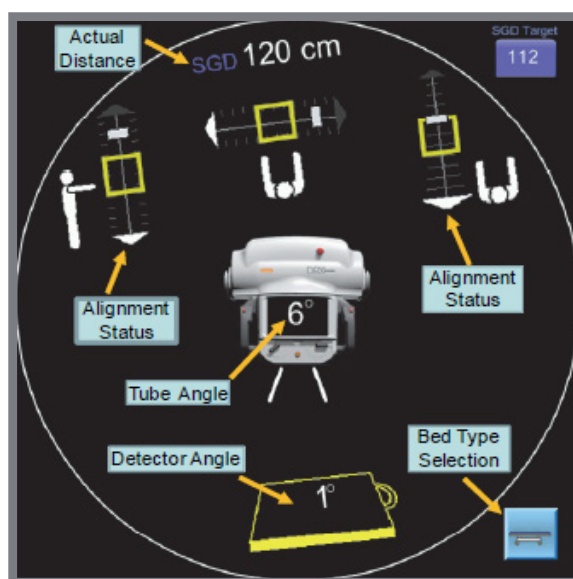


Obr. 3-1 Carestream DRX - revolution

Barevné řešení přístroje se skládá ze dvou základních barev - šedá a bílá, s oranžovým akcentem. Boky přístroje jsou provedeny v bílé barvě s prolisy, které kopírují profilovou křivku a vytváří tvarové zpestření boku pomocí stínů. Bílé boční díly ohraničují střední plochy přístroje provedené v šedé barvě. Bílou barvou je také provedeno rameno vyjma hlavy rentgenky, která je šedá. Jako akcent je použita oranžová barva, která je použita na velká zadní kola a plastový pruh v přední části, který zakrývá detektory, které zabrzdí přístroj v případě nebezpečí srážky.

Z ergonomického hlediska má přístroj několik ovládacích prvků. První ovládací prvky zajišťují pohyb přístroje. Jedná se o madlo v zadní části přístroje, na které působí člověk silou v požadovaném směru pohybu a tato síla je převedena na elektrický signál a vedena do motorů. Druhým typem jsou ovládací prvky sloužící pro výkon vytvoření





Obr. 3-2 Vizualizace zarovnání rentgenky s detektorem

snímku. Jedná se o dvě madla umístěná na hlavě rentgenky. Uchopením za tyto madla a působením síly je rentgenka na teleskopickém ramenu nastavena nad požadovanou oblast nad pacientem. Dále je nutné umístit detektor rentgenového záření tak, aby byl pacient umístěn mezi rentgenkou a detektorem. Rentgenka musí být natočena kolmo k povrchu detektoru. Pro dosažení kolmosti je na hlavě rentgenky umístěn dotykový displej, který zobrazuje polohu detektoru a úhel, pod jakým je natočen. Pro správné nastavení musí být úhly detektoru a rentgenky shodné. Nastavení snímkové oblasti je zobrazeno prosvětlením kolimátoru a následným osvětlením na pacientovi. Nastavení výkonu rentgenky a času expozice může být provedeno přímo na displeji na hlavě rentgenky nebo na devatenáctipalcovém dotykovém displeji na těle rentgenu. Posledním ovládacím prvkem je spoušť expozice, která je spojena s rentgenem pomocí kabelu a dovoluje pracovníkovi vzdálenost od rentgenu 9m. Spoušť je umístěna v zadní části přístroje pod madlem pro pojezd. Dalším prvkem je umístění zásuvky pro uložení detektoru během převozu na zadní straně rentgenu. Spolu s touto zásuvkou je na zadní straně přístroje umístěno několik odkládacích prostor pro potřebné lékařské nástroje (hygienické rukavice, sterilní igelitový obal na detektor apod.). Dalším důležitým faktorem jsou rozměry přístroje, které musí dovolovat pohyb po nemocničních chodbách, průjezdy dveřmi do pokojů a výtahů. Aby měla obsluha při převozu dostatečný přehled a výhled na trasu před sebou, je teleskopické rameno možno složit do kompaktního tvaru, ve kterém během převozu nevyčnívá žádný komponent mimo obvod přístroje.

### 3.2 GE Healthcare

3.2

General Electric Healthcare je britská firma zabývající se výrobou lékařských přístrojů diagnostického zobrazování. V oblasti mobilních rentgenů nabízejí tři přístroje Optima XR220amx má podobnou konstrukci jako přístroj od firmy Carestream. Rentgen se pohybuje na čtyřech kolech. Zadní kola jsou zde však skryta pod bočním dílem. Celkový tvar těla rentgenu má geometrický charakter (rovné boční díly bez žádných prolisů). Hlavní hmota přístroje je také soustředěna nad zadními koly a nad předními otočnými koly je umístěna základna teleskopického ramene tvarovaného do jednodu-

chých tvarů dvou kvádrů (svislého, který je spojen s tělem rentgenu a vodorovného, na kterém je upevněna hlava rentgenky), které jsou na sebe kolmé. V horní části těla rentgenu je umístěn dotykový displej, před kterým je madlo, jehož prostřednictvím je zajištěn pohyb přístroje.

Barevné řešení je voleno bílé s černými manipulačními a ovládacími prvky (madlo, okolí displeje, madla pro nastavení pozice rentgenky). Na bocích přístroje jsou umístěny různé barevné motivy, které mají hlavně psychologickou funkci a to zpříjemnit pacientům pohled na přístroj.



Obr. 3-3 Optima XR220amx

Ergonomické řešení přístroje je obdobné jako u firmy Carestream. Pohyb přístroje je obstarán silovým působením člověka na madlo v zadní části přístroje. Nastavení rentgenky nad příslušnou oblast se provádí uchopením za dvě madla na hlavě rentgenky. Dále jsou na hlavě rentgenky umístěny ovladače pro nastavení kolimátoru. Detektor je umístěn v zásuvce na zadní straně přístroje pod madlem. Pro lepší obsluhu je detektor opatřen dvěma madly. Tento přístroj má pouze jeden dotykový displej na vrchní straně těla rentgenu. Spolu s displejem jsou na vrchní straně odkládací prostory pro uložení drobných předmětů a lékařského materiálu. Spoušť expozice je také umístěna pod pojízdným madlem a délkou kabelu určuje bezpečnou vzdálenost obsluhy od přístroje. Celé tvarové řešení je navrženo tak, aby poskytovalo co nejjednodušší a nejméně efektivní čištění.

Během transportu se rameno otočí směrem dozadu a hlava rentgenky je proti uvolnění zajištěna v poloze těsně nad displejem.

### 3.3 Philips

Philips je holandská firma zabývající se výrobou elektroniky a to i v oblasti lékařských technologií. Mobilním rentgenovým přístrojem vyvinutým touto firmou je MobilDiagnost wDR. Rentgenka je upevněna na konci vodorovného teleskopického ramene pohybujícím se po svislém teleskopickém rameni otáčejícím se na podstavě upevněné v přední části přístroje nad předními otočnými koly. Celková hmota rentgenu je umístěna nad velkými zadními motorizovanými koly, které zaujímají dominantní postavení v celkovém vzhledu přístroje. Geometrické tvarování teleskopického ramene (do sebe zasouvající kvádry) se projevuje i u tvarování těla rentgenu. Tento tvar je narušen

ve spodní části spárou oddělující podvozek a vrchní tělo rentgenu a v horní části nakloněným displejem a posuvným madlem.

Barevné řešení se sestává ze dvou základních barev - bílé a šedé. Šedou barvou je od-



Obr. 3-4 Phillips MobileDiagnost wDR

dělena spodní část s podvozkem a koly. Tělo rentgenu a rameno s hlavou rentgenky je potom bílé. Ovládací prvky jako posuvné madlo a úchopy na hlavě rentgenky, jsou provedeny ve světle béžové barvě.

Ergonomie ovládání se sestává z ovladačů určených pro transport zařízení (pojezdového madla v zadní části rentgenu), ovladačů určených k nastavení pozice rentgenky (dvou madel na hlavě rentgenky) a kolimátoru (ovladače na hlavě rentgenky, dotykového displeje na vrchní části těla rentgenu a spouště expozice umístěné na levé straně v zadní části přístroje pod posuvným madlem). Spoušť je pevně spojena s tělem rentgenu a délka kabelu určuje bezpečnou vzdálenost během expozice. Detektor je bezdrátový a během převozu a při nabíjení je umístěn v držáku pod posuvným madlem. Během převozu se hlava s rentgenkou skládá otočením nad displej a ukotvením v držáku, který zabraňuje jejímu uvolnění.

### 3.4 Schimadzu

3.4

Schimadzu je Japonská firma zabývající se mimo jiné i vývojem lékařských přístrojů. Mezi její nejnovější přístroje v oblasti mobilních rentgenů patří rentgeny řady Mobi-



Obr. 3-5 Schimadzu MobileDaRt

leDaRt, na jejichž výrobě spolupracuje s firmou Canon, která dodává detektory rentgenového záření.

Pohyb přístroje je zajištěn pomocí čtyř kol. Hnaná zadní kola jsou většího průměru než otočná kola přední. Hlavní hmota těla rentgenu je tvarována převážně organickými liniemi. Dominantním prvkem je zde posuvné madlo, které opticky vybíhá ze středu těla rentgenu až do zadní části. Zaoblený tvar, ze kterého madlo vychází, se projevuje v dalším tvarování hran bočnic a to především v horní části, kde bočnice navazují na zkosenou plochu s dotykovým displejem. Rameno s rentgenkou je konstrukčně řešeno jako teleskopické a tvarování zde přímo následuje funkci. To samé platí i o tvarovém řešení hlavy rentgenky, která opisuje tvar rentgenové trubice a kolimátoru.

Barevné řešení je provedeno pomocí dvou barev - bílé a nemocniční světle modré. Světle modrou barvou jsou provedeny ovládací prvky a bočnice. Kola, podvozek a rameno s rentgenkou a kolimátorem jsou provedeny bíle.



Obr. 3-6 Schimadzu MobileDaRt s dětskou grafikou

Z psychologického hlediska pro zpříjemnění vyšetření pro děti, se může na přístroj umístit grafika v podobě samolepících fólií, která zobrazuje různá zvířata.

Ergonomická řešení přístroje se odvíjejí podle typu prováděných operací. Pro pohyb přístroje je určeno posuvné madlo, další dvě madla na hlavě rentgenky jsou určena pro nastavení ramene s rentgenkou do polohy pro vytvoření snímku. Pokud je během nastavování rentgenky potřeba popojet celým přístrojem, jsou na hlavě rentgenky zabudována tlačítka ovládající pojezd celého přístroje. Pomocí otočných ovladačů se nastavuje rozpětí kolimátoru. Výstup dat se zobrazuje na dotykovém displeji na vrchní straně těla rentgenu. Nastavování hodnot expozice se provádí tlačítky a vlastním led displejem umístěným pod dotykovým displejem. Spoušť expozice je umístěna pod posuvným madlem na pravé straně. Detektor se během transportu ukládá do úložného prostoru pod pojezdovým madlem.

### 3.5 Siemens

Siemens je německá firma zabývající se mimo jiné výrobou lékařské techniky. V oblasti mobilních rentgenů nabízí tato firma několik produktů.

Mobilett Mira je mobilní rentgenový přístroj s bezdrátovým detektorem rentgenového záření. Pohyb rentgenu je motorizovaný na zadní hnaná kola a s předními otočnými koly. Tělo rentgenu má boční stěny ve tvaru obdélníku se zaoblenými rohy. Tento

boční díl protíná ve spodní části zadní kolo. Tvarové pojetí hmoty těla přístroje se odvolává na tvar bočnic a přebírá prvek geometrického obdélníkového tvarování se zaoblenými rohy. Ve vrchní části vystupuje nakloněná rovina s dotykovým displejem.



Obr. 3-7 Siemens Mobilet Mira

Rameno s rentgenkou zde není spojeno s tělem rentgenu na spodní přední části, ale je upevněno na ploše na vrchní straně těla rentgenu před dotykovým displejem. Konstrukce ramene se skládá ze dvou dílů ramene spojených kloubem. Veškeré kabely a vedení jsou umístěny uvnitř ramene a díky tomu je jednodušší čištění přístroje a jeho udržení ve sterilitě.

V barevném řešení je volena bílá barva na ramenu a těle rentgenu. Na bočnice je použit jemný odstín světle modré barvy v kombinaci se stříbrnou barvou po obvodu obdélní-



Obr. 3-8 grafika „žirafa“ na rameni s rentgenkou

kového tvaru. Pro přátelštější výraz přístroje je rameno opatřeno grafikou připodobňující rameno s hlavou rentgenky ke krku a hlavě žirafy.

Hlavní ergonomické prvky přístroje jsou ovladače pohybu celého přístroje, nastavení ramene s rentgenkou a rentgenky, nastavení parametrů expozice a ovládání výstupních dat. Ovládání pohybu přístroje se provádí pojezdovým madlem v zadní části přístroje. Pro pomalý pojezd přístroje během nastavování ramene slouží tlačítka umístěná na

rameni těsně před hlavou rentgenky. Pro polohování ramene a rentgenky jsou určeny dvojce madla. První je umístěno těsně před hlavou rentgenky a slouží k ovládání ramene. Druhé má kruhový tvar, je připevněno zespodu na kolimátor a slouží nastavení rentgenky nad detektor. K nastavení rozsahu kolimátoru slouží dvojice otočných ovladačů umístěných zespodu na kolimátor. Při převozu je rameno sklopeno směrem dopředu a proti pohybu je zachyceno za madlo na rameni před rentgenkou. Na zadní stěně těla rentgenu je umístěn držák pro uložení a nabíjení bezdrátového detektoru.

### 3.6 Toshiba

Toshiba je japonská firma zabývající se výrobou lékařských diagnostických přístrojů, převážně CT, MRI, rentgenů, a ultrazvuků.

Mobilní rentgen Toshiba IME-100L vychází v tvarovém pojetí z čistě geometrického řešení. Tělo rentgenu je ostře tvarováno do tvaru kvádrů. Tento tvar nenarušuje žádné naklonění displeje směrem k obsluze ale pouze mírné zkosení v oblasti napojení ramene s rentgenkou. Motorem hnaná kola nejsou zabudována do tvaru bočnic a nezvykle je přesahují. Přední otočná kola jsou upevněna na předním dílu s nárazníkem. Tento přední díl je opticky oddělen od hlavního těla rentgenu a celý přístroj tak nepůsobí dojmem jednoho spojitého tělesa, ale tělesa poskládaného z několika částí. Rameno s rentgenkou je konstrukčně řešeno pevným sloupkem rotačně spojeným s tělem rentgenu. Na tento sloupek je kloubovým spojením napojeno rameno s rentgenkou.

Barvy jsou řešeny převážně bílou barvou na tělo přístroje a rameno. Šedou barvou je řešena vrchní plocha kolem displeje, kloub ramene a nárazník u předních kol.

Ergonomické prvky spojené s ovládáním pohybu přístroje jsou umístěny na zadní straně přístroje (pojezdové madlo, rychlobrzda). Pro obsluhu ramene je určeno madlo na rameni u hlavy s rentgenkou. Naklápění hlavy s rentgenkou se provádí pomocí dvou madel vedle kolimátoru. Při transportu je rameno sklopeno směrem ve směru jízdy a zajištěno proti pohybu uchycením za aretační držadlo. Detektor je uložen v držáku na zadní straně přístroje.



Obr. 3-9 Toshiba IME-100L



## 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

4

Vlastní návrh designu mobilního rentgenového přístroje vychází ze stanovených parametrů, které mají ve svém důsledku velký vliv na samotné tvarové pojetí, rozměry a uspořádání přístroje. Variantní studie tedy směřují k návrhu přístroje pro použití v nemocnicích s výkonem do 35kW, s možností okamžitého náhledu snímku na zabudovaném displeji a s bezdrátovým detektorem, který je během převozu umístěn v odkládacím slotu, ve kterém je nabíjen. Tyto parametry mají v první řadě velký vliv na velikost přístroje a na celkové uspořádání jednotlivých komponent (umístění ramene s rentgenkou, displeje, detektoru) a rozvržení „hmoty“ tak, aby celý přístroj působil vyváženě jak vizuálně tak i funkčně. Dalšími faktory ovlivňující tvarové řešení jsou vlivy např. ergonomické, konstrukční a potom omezení vyplývající z prostoru, ve kterém je přístroj používán (velikost dveří, výtahu, otočení na chodbě atd.)

U všech variant byly při návrhu zohledňovány další aspekty a to především oproštění přístroje od příliš technického vzhledu a přiblížení tvarů k uživateli a to jak k pacientovi, tak i k obsluze přístroje.

### 4.1 Proces návrhu

4.1

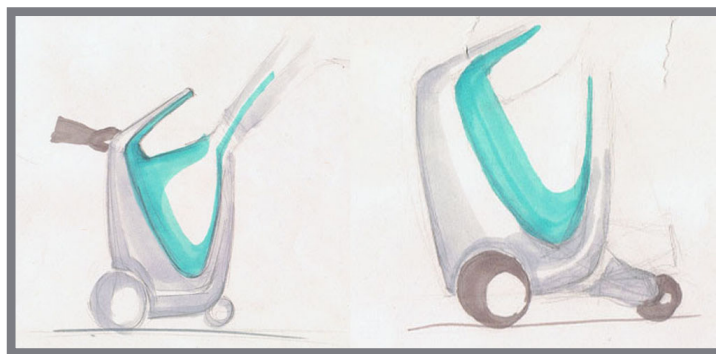
V začátcích návrhu designu bylo několik vizí, které byly postupně zpracovávány ve skicích a které později sloužily jako inspirace pro utváření finálního návrhu.

U těchto prvních studií byla určitá volnost nápadu a při návrhu byly zohledňovány základní požadavky a omezení. Jedním z těchto návrhů je poněkud futuristické pojetí, které se sestává z několika dílů přiložených k sobě. Mezi těmito díly vznikají mezery



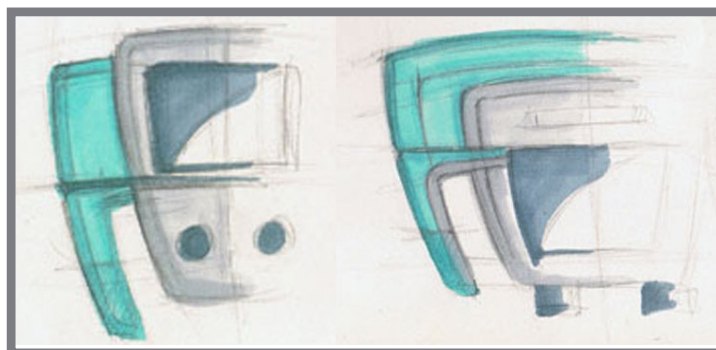
Obr. 4-1 První skic

tvůřící při bočním pohledu písmeno X. Jedná se o symbolické pojetí, které se odvolává na anglické pojmenování rentgenu - X-ray unit. Jednotlivé mezery písmene X mají ale také funkci logického propojení funkčních částí přístroje. Dotykový displej, rameno s rentgenkou a předních a zadních kol. Tyto linie se tedy střetávají uprostřed hmoty těla přístroje a vytvářejí dominantní tvarový prvek. Z tohoto návrhu bylo převzato umístění hlavního displeje, který není zabudován do celkové hmoty, ale vystupuje z ní a naklání se směrem k uživateli. Dalším přejatým a dále rozvedeným prvkem je umístění manžet u kloubů ramene zakrývajících vedení kabelů, které potom nepůsobí rušivě a jsou bezpečně schovány.



Obr. 4-2 První skicy finálního řešení

Další návrhy se pomalu začaly blížit konečným variantním studiím a při návrhu se musely brát v úvahu konstrukční a další omezení. Tvarové pojetí, ze kterého vychází finální řešení, bylo v první fázi navrženo jako jednotné těleso bez narušujících vyčnívajících ploch (zejména u upevnění předních kol). Toto řešení však příliš nesplňovalo podmínku stability a návrh ramene by nemohl splnit kladené nároky. Nicméně z tohoto konceptu se vycházelo při další práci. Přední kola musela být posunuta více dopředu k zajištění stability pomocí nohy. Pro řešení tohoto předsunutí byly možné dva způsoby. Předsunutá přední kola mohla být uchycena na dvě samostatné nohy, které budou opticky působit jako samostatná tělesa vycházející z hlavní hmoty. Druhou možností bylo vytvoření jedné spojené plochy tvořící předsunutou přední nohu, která bude vizu-



Obr. 4-3 Skicy hlavy s rentgenkou

álně propojena s hlavní hmotou tělesa přístroje. Tvar nohy musel být také přizpůsoben k uchycení otočných kol (možnost otáčení kolem vertikální osy o 360°).

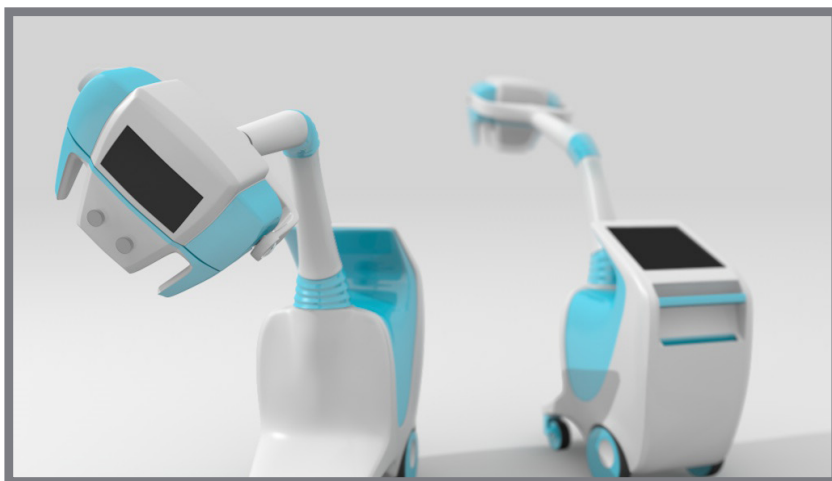
Tvar ramene prošel dlouhým vývojem a mnoha skicami, kdy byla především řešena funkční stránka návrhu. Rameno musí mít dostatečný dosah kolem přístroje a zároveň musí umožňovat dobré složení a pevné uchycení během převozu.

Byly navrženy dva různé způsoby uchycení hlavy rentgenky k druhému dílu ramene. První způsob je upevnění ve vidlici. Druhý způsob pomocí kloubu zakrytého manžetou přímo do zadní části hlavy rentgenky. Druhý způsob sice přináší výhodu čistějšího a jednoduššího vzhledu, ale po konstrukční stránce by toto řešení přineslo mnoho obtíží.



## 4.2 Varianta I

První variantní návrh je koncipován jako základní hmota těla rentgenu, která je umístěná nad zadními koly. Z této základní hmoty se ve vrchní zadní části zvedá displej a ve vrchní přední části je napojeno kloubové rameno s rentgenkou. Hlavní hmota je minimalisticky rozdělena na dvě části, které jsou poté barevně odděleny. Linie, oddělující tyto plochy, vytváří při bočním pohledu spojnici displeje s ramenem rentgenky



Obr. 4-4 Varianta I

a logicky tak narušuje jinak jednotvárnou boční plochu. Naproti této linii je základní hmota navíc rozdělena kruhovým průnikem tvořícím blatník zadního kola. Zadní strana přístroje je v horní části rovinná (tvořící prostor pro umístění displeje) a v části u spodní hrany displeje, kde se plocha lomí a otáčí směrem dolů, přechází do mírného prohnutí. Pod tímto zlomem je umístěno madlo pro ovládání posuvu přístroje a slot pro odkládání a dobíjení detektoru. Madlo i slot pro detektor jsou zabudovány do těla rentgenu a zachovávají tak tvarovou a vizuální celistvost přístroje při bočním pohledu, kdy žádné prvky nevyčnívají z hlavní hmoty. Profil tohoto výřezu má tvar obdélníku. Horní a dolní plochy tohoto výřezu se směrem dovnitř mírně zužují. Ve spodní přední části vybíhá ze základní hmoty plocha tvořící opěrnou nohu, na které jsou připevněna přední otočná kola. Tato plocha na bocích přechází ve hranu, která postupně mizí do ztracena až k oblouku tvořící průnik zadního kola. Přední kola jsou umístěna v předních rozích a z této plochy vybíhají ve válcovém tvaru do krytu kol, který se promítá i do zaoblení rohů u nohy. Střed tohoto válcového tvaru (krytu) je zároveň středem otáčení kol. Kryt předního kola je záměrně barevně odlišen od nohy, která by s ní jinak byla opticky spojena a vytvářela různé nezamýšlené asociace. Horní plocha nohy přechází do čelní strany přístroje v mírném zaoblení. Toto čelní tvarování je podmíněno návazností na tvar ukotvení ramene. Pro správnou funkčnost ramene je nutné zajištění potřebné pohyblivosti - rotace v místě ukotvení kolem vertikální osy. V závislosti na typu pohybu (tedy rotace) bylo zvoleno ukotvení kruhového tvaru, na které tedy navazuje čelní plocha. První kloub ramene, který je upevněn k základní hmotě přístroje musí kromě vertikální rotace dovolovat i naklápění kolem horizontální osy. Aby bylo dosaženo tvarové návaznosti základní hmoty těla přístroje a ramene, je kloub umístěn uvnitř gumové manžety. Tato manžeta má kruhový tvar, který ve spodní části navazuje

na plochu ukotvení kloubu. Ve vrchní části má manžeta také kruhový tvar, přecházející v první díl ramene. Spoj prvního dílu ramene s druhým je také proveden pomocí kloubu, kolem kterého je ochranná manžeta. Tento druhý kloub otáčí druhým ramenem pouze kolem horizontální osy a z toho důvodu není volen tvar průřezu kruhový ale obdélníkový. Druhé rameno je zakončeno vidlicí uchopující hlavu s rentgenkou. Vidlice samotná se otáčí kolem osy procházející ramenem. Hlava rentgenky je tvarována v závislosti na komponentech a jejich uspořádání (tedy rentgenky samotné a kolimátoru pod ní).

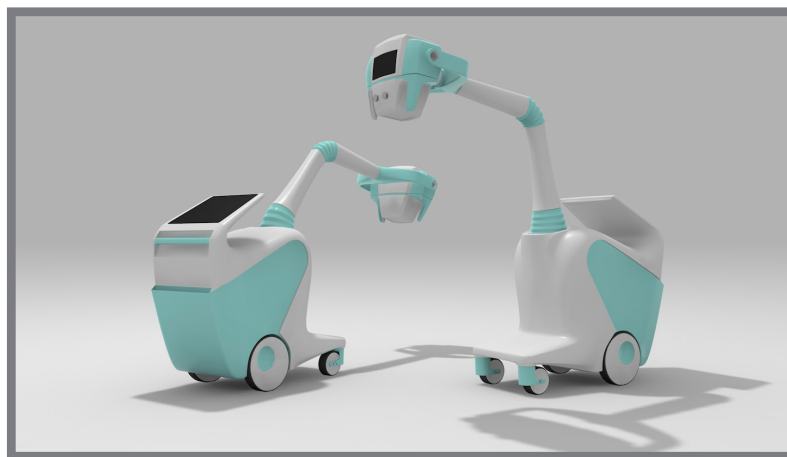
Návrh první varianty hlavy rentgenky vychází z průniku dvou těles. Hlavního středového tělesa, které ve spodní části tvoří hmotu kolimátoru a druhého tělesa, které v horní části proniká středovým dílem a směrem dolů přechází v uchopovací madla. Na vrchní části čelní strany prostředního dílu je umístěn informační displej. Na přední straně kolimátoru potom jeho manuální ovladače.

Nevýhodou tohoto návrhu je přílišné zvětšování objemu v důsledku předsazení středového tělesa, které má za následek optické zvyšování hmotnosti. Další nevýhodou je umístění displeje v horní části u rentgenky. Kolimátor je třeba otáčet kolem osy kolmé na rentgenku a z toho důvodu je umístění displeje mimo kolimátor nevhodné.

Tato varianta nejvíce splňovala předpoklady pro dosažení stanovených cílů a byla podkladem pro další, detailní rozpracování do finálního řešení.

### 4.3 Varianta II

Druhý variantní návrh se sestává obdobně z hlavní hmoty, která je zde řešena podstatně mohutněji. Přední plocha tvořící podstavu pro umístění předních kol přechází



Obr. 4-5 Varianta II

postupně do displeje na horní straně. Roh rentgenu, na kterém je ukotveno rameno, je organicky zaoblen a kopíruje tvar rohu klínu pronikajícího hlavním tělem přístroje. Tento klín má tvar výseče, který na spodní straně vychází ze středového bodu zadního kola, poté směřuje ke spodnímu kloubu ramene, kde se postupně stáčí dozadu. Zadní stranu přístroje rozděluje na dvě části přesahem, který tvoří odkládací a nabíjecí stanici pro detektor. Toto řešení umístění slotu umožňuje použít větší šířku otvoru a tedy i větší rozměr detektoru. Nad tímto rozdělením je umístěno ovládací madlo pohybu

přístroje, které je zabudováno do základního těla přístroje a jeho vnější hrana je zarovnána se zadní plochou.

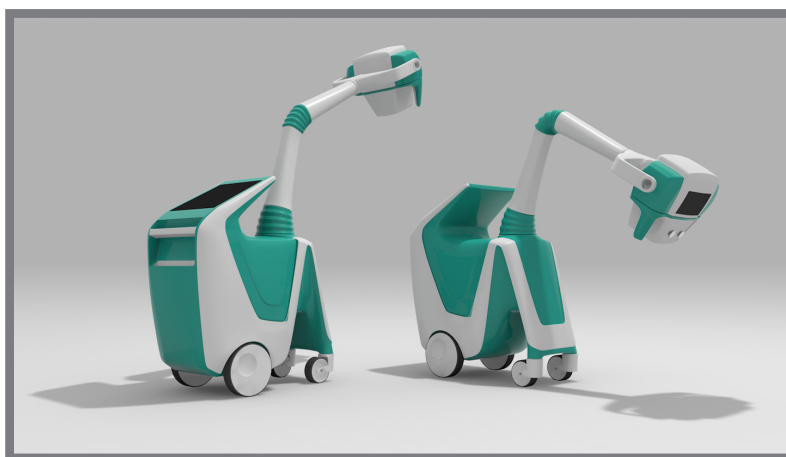
Rameno s rentgenkou má také klouby kryté gumovými manžetami. Potřebné kabely a vedení jsou skryty uvnitř ramene a neruší tak opticky čistý tvar. Rotační uložení prvního kloubu pro spojení prvního ramene se základním tělem rentgenu je mírně zahlubeno v zaobleném přechodu horní a čelní plochy. Na přední straně je pak plocha tvořící podstavu rotačního kloubu mírně předsunuta.

Tento variantní návrh má několik nedostatků, kvůli kterým nebyl dále zpracováván. Hlavní nedostatek je celková nevyváženost jednotlivých hmot a značná mohutnost. Optickou destabilitu umocňuje dělicí výseč, která se rozšiřuje směrem dolů, a působí příliš rušivě.

#### 4.4 Varianta III

4.4

Třetí variantní studie je více geometricky tvarována než předchozí varianty. Hlavním bodem tohoto řešení je upevnění předních kol. Naopak od předcházejících variant, vychází plocha tvořící podpůrnou nohu předních kol z vrchní části u spoje ramene s tělem přístroje. Díky tomu je dosaženo zcela odlišného tvarového uspořádání. Hmota přístroje je také odlišně členěna než u předchozích variant. Bočnice přístroje vytvářejí linii, která obepíná celý přístroj. Spojuje se na dvou místech - na horní straně hlavního displeje a na hraně nad předními koly. Při pohledu z boku je vybrání mezi nohou s předními koly a tělem rentgenu zopakováno jako rozdělení bočnice na dvě plochy. Hrana, která mezi těmito plochami vznikne, je také zároveň určitou logickou spojnicí mezi ramenem s rentgenkou a hlavním displejem. Vrchní plocha vzniklá touto oddělovací hranou má na bocích vytvořené prolisy kopírující tvar oddělovací hrany a vytvářející mírné odsazení. Takto vzniklé odsazení se směrem nahoru zmenšuje, až se zcela vytrácí. Záměr tohoto odsazení je vytvoření stínu na jinak příliš rovné boční ploše. Madlo pro ovládání pohybu přístroje je umístěno na zadní straně pod hlavním



Obr. 4-6 Varianta II

displejem a je také zabudováno pod úroveň zadní plochy, aby se zachovala tvarová celistvost. Stejně tak je i zabudován slot pro detektor pod madlem.

Kloubové rameno je k tělu přístroje ukotveno na spojnici přední nohy a hlavního těla rentgenu, kde je dosaženo jeho maximální pohyblivosti. Klouby jsou také zakryty gumovými manžetami.

Hlava rentgenky je zde tvarována podobně jako u první varianty ale s několika změnami odstraňujícími její nedostatky. Středová hmota kolimátoru přechází opticky do vrchní části s rentgenkou, ale na rozdíl od předešlé varianty jí neprochází úplně nýbrž jen do určité vzdálenosti (zhruba polovina výšky). Hlavní hmota vrchní části obepínající rentgenku má na čelní straně prolis, který ji odděluje od středové plochy pokračující od kolimátoru. Hrana tohoto prolisu pokračuje po obvodu a ve spodní části přechází do uchopovacího madla. Displej je zde umístěn na čelní ploše u kolimátoru a jeho vrchní hrana zároveň vytváří linii oddělující spodní otočný díl (kolimátor s madly) od vrchního dílu s rentgenkou. Osa rotace kolimátoru je zároveň středovou osou otvoru v rentgence, kudy vystupuje rentgenové záření. Ovládací prvky zde nejsou řešeny manuálně, ale celé ovládání je prováděno přes dotykový displej.

Hlavní problém této variantské studie vychází z upevnění předních kol. Přední plocha, která je takto zkosená, by nedovolovala bezpečné sklopení ramene s rentgenkou při převozu a jeho pevnou aretaci. Tvarové řešení bočnic je také přechodem k předním kolům příliš překombinované a působí značně rozčleněně. To má za následek celkové optické rozbití těla přístroje, který pak nepůsobí jako jeden kompaktní přístroj.





## 5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

5

Jedním z důležitých faktorů při návrhu lékařských přístrojů je ohled na ergonomické požadavky a lidský faktor s nimi spojený. Hlavním předmětem při návrhu je dopad designu na bezpečné a efektivní používání lékařského přístroje. Design přístroje musí být takový, aby bylo zabráněno vzniku chyb při jeho používání, které mohou nejen bránit efektivní léčbě pacienta, monitorování a diagnóze, ale v některých případech mohou vést i k ohrožení života.

Zvýšení bezpečnosti a efektivnosti v používání lékařského přístroje se projeví redukováním chyb způsobených uživatelem a to vhodným uživatelským rozhraním mezi přístrojem a uživatelem a hardwarem a softwarem, který tuto interakci definuje.

Zdravotní pracovníci, kteří tvoří cílovou skupinu lidí, pracujících s lékařskými přístroji se velmi liší ve fyzických, smyslových a duševních schopnostech. Prostředí, ve kterém jsou lékařské přístroje používány, je mnoho druhů. Od operačních sálů, pohotovostních pokojů, pokojů pro pacienty, rentgenových oddělení, jednotek intenzivní péče a klinik. Použití přístrojů v těchto prostředích může být ztíženo různými faktory jako např. hlukem, nedostatečným osvětlením, teplem, elektrickou interferencí apod. Použití lékařských přístrojů bude bezpečné a efektivní, pouze pokud jsou při návrhu započítány vztahy mezi prostředím, ve kterém přístroj pracuje, schopnostmi uživatele, hladin stresu a samotným designem.[15]

### 5.4.1 Fyzikální a smyslové zařízení

5.4.1

Základní lidské fyzikální a smyslové schopnosti jsou zrak, sluch, manuální zručnost, síla a dosah. S těmito schopnostmi je spojeno mnoho konstrukčních faktorů, které jsou s nimi provázané, a které mají vliv na výkon uživatele: na čitelnost a rozlišitelnost zobrazovaných symbolů, slyšitelnost a rozlišitelnost zvukových alarmů, sílu požadovanou k vytvoření spojení a požadavky na dosažitelnost ovládacích prvků.[15]

### 5.4.2 Vjemové a poznávací schopnosti

5.4.2

Vjem je schopnost najít, identifikovat a rozlišit smyslový vstup. Pochopení lidských hranic a využití lidské síly v této oblasti je rozhodující pro bezpečný návrh vybavení. Vjemové charakteristiky jsou důležité při návrhu a rozmístění ovládacích prvků, kláves, displejů a hlásičů. Poznávání se vztahuje k vyšším duševním jevům jako je paměť, zpracovávání informací, používání pravidel a postupů, hypotetických informací a řešení problémů.

Očekávání: Lidé mají predispozici reagovat na nové situace podle stanovených zvyků. Při návrhu by tedy měli být zohledněny výhody u existujících obecných konvencí (jako např. červená barva odpovídá nebezpečí) a u konvencí zavedených v lékařské komunitě. Provedení, které koresponduje se zažitými zvyky, usnadní práci s přístrojem a může zredukovat čas ke školení. Naopak takové provedení, které je v konfliktu s takovými zvyky vede k chybám.

Duševní modely: založeny na zkušenostech, lidé tvoří abstraktní představy o tom, jak určité jevy fungují. Výstupní data na monitoru přístroje by tedy měla udávat takové informace, které budou v souladu s daty potřebnými lékařem.[15]

## 5.1 Ergonomická kategorie

5.1

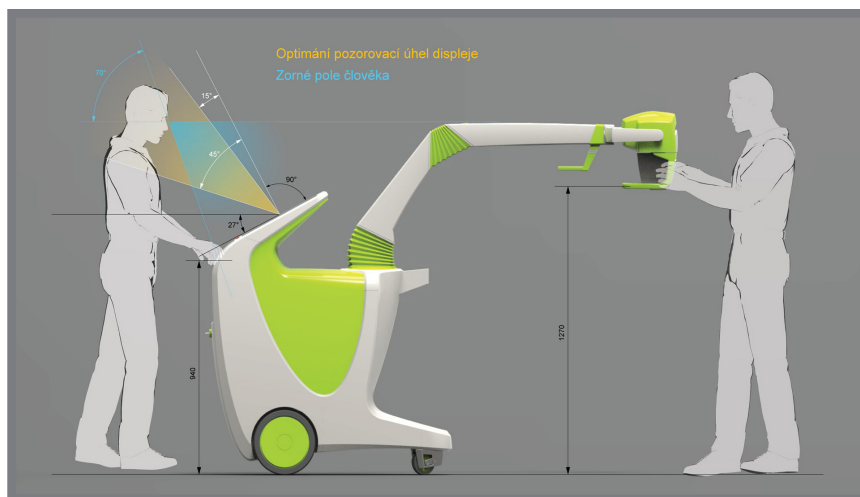
Mobilní rentgen spadá do ergonomické kategorie D. Jedná se o přístroj, u kterého dochází k pracovnímu kontaktu. Je obsluhován výhradně prostřednictvím ruky a to

pomocí ovladačů a sdělovačů. Výsledkem činnosti rentgenu je vytvoření snímku pomáhajícího při stanovení diagnózy a jedná se tedy o výrobní činnost.

Z tohoto zařazení do určité kategorie vyplývají určité faktory, na které je potřeba se zaměřit. Protože se jedná o obsluhu přístroje rukou, je nutné tomu přizpůsobit rozměrové řešení úchopových částí a jejich umístění vůči celku. Toto umístění musí být v souladu s fyziologií člověka. Musí být brán ohled na velikost silového působení při obsluze ovladačů, aby nedocházelo k přílišné námaze. Při umisťování ovladačů se musí také zohlednit psychická náročnost jejich identifikace a používání. Dalším důležitým faktorem majícím vliv na návrh je bezpečnost. Zabránění samovolnému nebo nechtěnému sepnutí ovladače, přizpůsobení povrchu madel uchopení (např. zdrsnění). Minimalizování nebezpečí úrazu, který by mohl být způsoben nevhodným tvarováním, nebo umístěním ovládacího prvku.[18]

## 5.2 Ovládání pohybu přístroje

Pohyb celého přístroje je ovládán v poloze ve stoje. Odhadovaná váha mobilního rentgenu je kolem 500 kg. Ovládat takový přístroj pouhou silou by bylo velmi obtížné a v podmínkách nemocničních zařízení i zbytečné. Z toho důvodu je samotný pojezd obstaráván dvěma nezávislými elektromotory pohánějícími zvlášť každé zadní kolo. Ovládání těchto elektromotorů je realizováno pomocí úchopového madla. Madlo má kruhový průřez o průměru 40 mm (maximální přípustný průměr pro madlo je 44 mm) a je umístěno v optimální výšce 940 mm od země. Toto umístění je voleno logicky v souladu se zažitými konvencemi, kdy je uchopovací madlo sloužící pro posun umístěno v zadní části a předpokládá se zapojení síly - tlačení - při pohybu dopředu, nebo tažení - při pohybu vzad.



Obr. 5-1 Ergonomie ovládání pojezdu, hlavního displeje a rentgenky

Madlo je na obou koncích upevněno v senzorech tak, aby bylo umožněno jeho mírné vychylování ve směru kolmém na osu madla. Senzory na koncích potom snímají sílu a směr, jakým se madlo pohybuje a tento pohyb je převeden na elektrický signál a odeslán do motoru, který podle něj otáčí koly. Pro uvedení přístroje do pohybu tedy stačí použití malé síly na madlo v požadovaném směru. Rychlost jakou se rentgen pohybuje



je přímo úměrná použité síle a průměrná rychlost odpovídá rychlosti při chůzi - tedy 5 km/h.

Obsluhování přístroje prostřednictvím madla přináší zjednodušení v menším počtu ovladačů (není potřeba přepínat páky pro změnu směru a pro změnu rychlosti) a to s sebou přináší menší počet úkonů požadovaných po obsluze. Například v případě, kdy je nutné přístroj okamžitě zastavit a není čas hledat správný ovladač brzdy, stačí pouze reflexivně zapůsobit na madlo v opačném směru a tento pohyb okamžitě zastaví pohyb přístroje v nechtěném směru.

### 5.3 Nastavení přístroje do pracovní polohy

5.3

Dalším úkonem v ovládání přístroje je jeho nastavení do správné polohy nad požadovanou oblast, na které bude vytvořen rentgenový snímek. Mobilní rentgen slouží k vytváření snímků pacienta přímo na lůžku a to s sebou přináší složitější ustavení rentgenky do potřebné polohy, než je tomu u nepřenosných rentgenů v radiologické místnosti, kde je rentgenka již přesně ustavena do polohy proti detektoru a jedná se

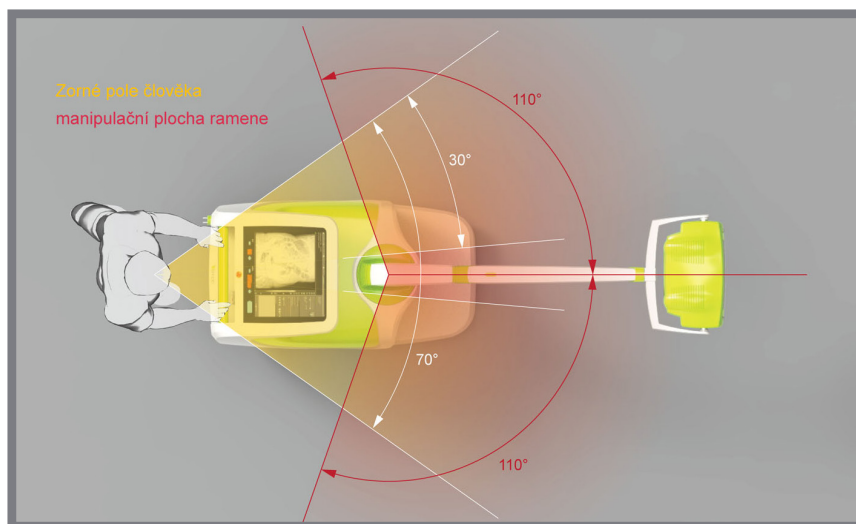


Obr. 5-2 Příklad možného nastavení rentgenu

pouze o její posunutí nad oblast snímání. Poloha člověka při obsluze je opět ve stoje. Nejdříve musí být pod snímanou oblast položen detektor, vůči kterému se potom bude zarovnávat rentgenka. Detektor je během převozu umístěn v dobíjecím slotu na zadní straně přístroje pod madlem ovládacím pohyb. Na vrchní straně je detektor opatřen rukojetí pro snadnou manipulaci při vyjmutí ze slotu a následného umísťování do pracovní polohy. Délka rukojeti je 267 mm a umožňuje uchopení oběma rukama. V levém horním rohu rukojeti je umístěn ovladač zapnutí a vypnutí detektoru. Jedná se o dvoupolohový vypínač pro ovládání jedním prstem, který je umístěn tak, aby se dal ovládat palcem ruky, která zároveň uchopuje madlo detektoru. Změny polohy vypínače je tedy dosahováno silovým působením obsluhy. Na opačné straně jsou dvě kontrolky ukazující stav nabití baterie a kontrolka signalizující zpracovávání informací. Umístění detektoru do slotu je možné pouze v jedné poloze a to tak, aby byly kontrolky otočené směrem ven, a byly tak viditelné obsluhou. Pracovní poloha detektoru je tedy taková, aby byla snímaná oblast umístěna mezi ním a rentgenkou. Detektor může být jednoduše položen pod pacienta (při vytváření snímků na lůžku) nebo může být upevněn do stojanu (snímání pacienta ve stoje).

Rentgenka je umístěna na konci kloubového ramene, které zajišťuje potřebnou polohovatelnost. Rameno se skládá ze dvou základních dílů spojených klouby. První díl je spojen s hlavním tělem rentgenu a toto kloubové spojení umožňuje rotaci kolem vertikální osy (natačení kolem přístroje - celkový úhel  $240^\circ$ ) a horizontální osy (nastavování výšky nad zemí - maximální výška rentgenky nad zemí je 2300 mm). Během převozu je rameno sklopené dolů a proti samovolnému pohybu aretováno v předstuněném držáku za rukojeť umístěnou na rameni těsně před hlavou s rentgenkou. Aretační držák je opatřen západkou, která umožňuje uchycení ramene jednoduchým zacvaknutím. Pro uvolnění je potřeba západku manuálně odklopit. Ve sklopené poloze zasahuje druhý kloub do výšky 1540 mm od země a mírně omezuje výhled do prostoru před strojem během převozu přístroje. Toto omezení je redukováno zeštíhlením ramene, které má šířku 80 mm.

Pojezd rentgenu na požadované místo může být ovládán i po uvolnění ramene pomocí tlačítek na rukojeti, které jsou pro lepší dosažitelnost umístěny z obou stran.



Obr. 5-3 Ergonomie pojezdu, a pracovní prostor ramene

Pro přesné situování rentgenky nad snímanou oblast je k dispozici rukojeť na hlavě rentgenky. Tato rukojeť je určena pro uchopení oběma rukama a v horní oblasti jsou umístěna aretační tlačítka sloužící pro uvolnění kolimátoru, pokud je potřeba jeho pootočení. Na displeji na čelní straně kolimátoru je pro jednodušší ustavení rentgenky graficky zobrazována její poloha (úhel a vzdálenost) vůči detektoru. Určení velikosti snímané plochy se nastavuje pomocí kolimátoru, veškeré ovládání je prováděno prostřednictvím dotykového displeje.

## 5.4 Vytváření a zpracování snímku

Po ustavení rentgenky do požadované polohy je dalším krokem v pracovním postupu samotné vytvoření snímku.

Nastavení potřebných parametrů expozice se provádí prostřednictvím hlavního dotykového displeje. Ten je rozdělen do dvou hlavních zón - zóna pro nastavení parametrů expozice (je umístěná u spodní hrany displeje a má rozměry 350 x 40 mm) a zóna sloužící pro náhled vytvořeného snímku a pro jeho následné zpracování (zbývající plocha displeje s rozměry 350 x 380 mm). Displej je umístěn ve výšce 1050 mm (spod-

ní hrana) až 1230 mm (vrchní hrana) od země. Celý displej je pro lepší dosažitelnost nakloněn o úhel  $27^\circ$ . Toto naklonění určuje umístění zóny, která je vhodná pro dobré odečtení údajů z displeje, které může být zhoršeno vlivem odlesků. Optimální pozorovací úhel je při pohledu kolmém na plochu displeje (úhel s kolmicí na displej je roven  $0^\circ$ ). Dobrý pozorovací úhel má limitní hodnoty  $45^\circ$  a  $10^\circ$  od dané kolmice. U hlavního displeje je pro padesátipercenilního člověka pozorovací úhel  $30^\circ$  (od kolmice), který splňuje požadavek pro pohodlné odečtení informací a práci s displejem.[17]

V zóně, kde se nastavují parametry expozice, se nachází dva informační displeje zobrazující důležité veličiny (napětí [kV] a proudu za čas [mAs]). Tyto veličiny se zobrazují na dvou LED displejích. Po stranách těchto displejů jsou umístěné ovladače měnící potřebné hodnoty. Toto nastavení je ovládáno pomocí dvou dotykových tlačítek + a -, které hodnoty zvyšují nebo snižují. Podle zavedených konvencí je tlačítko pro snížení hodnoty na levé straně a tlačítko pro zvýšení je na pravé straně

Spouštění rentgenky se provádí bezdrátovým dálkovým ovladačem, který je umístěn u odkládací stanice pro detektor.

Rentgen je zařízení, při jehož výkonu je produkováno radioaktivní záření. Z toho důvodu musí být brán ohled na odpovídající ochranu. Při spouštění rentgenky je radiologický pracovník povinen mít ochrannou olověnou vestu. Dále je bezpečná vzdálenost od zdroje záření (rentgenky) stanovena u mobilních přístrojů na 2,5 m.

Na dálkovém ovladači spouště rentgenky jsou umístěny dvě tlačítka v přední části určené pro ovládání palcem. První slouží k rozsvícení pomocného světla v kolimátoru. Toto světlo osvětí oblast, na které bude snímek vytvořen a pomáhá tak při nastavení velikosti této oblasti. Druhým tlačítkem se ovládá samotné generování rentgenového záření. Spoušť probíhá ve dvou krocích. Prvním stisknutím se zapíná rotace anody a druhým stiskem se zapíná samotné ozáření.

Pro případ mimořádné situace je rentgen opatřen nouzovým tlačítkem, které okamžitě přeruší prováděnou činnost. Umístění je voleno v dobře dosažitelné a viditelné oblasti pod hlavním displejem. Navíc je tlačítko zvýrazněno typickou červenou barvou a žlutým okrajem.



Obr. 5-4 Dálkový ovladač spouště

## 6 TVAROVÉ (KOMPOZIČNÍ) ŘEŠENÍ

Finální řešení je založeno na první variantní studii a zachovává základní výraz designu a kompozici jednotlivých prvků, která nejlépe splňovala hlavní záměr a cíl návrhu. Tím je oproštění od příliš technického vzhledu a dosažení tvarové jednoduchosti, která přístroj přiblíží k pacientovi. Zároveň bude splňovat nároky uživatele (obsluhy) na snadné a přehledné ovládání.

### 6.1 Designérský přístup

Inspirací při tvorbě bylo přírodní - organické tvarování. Tento přístup se projevuje hlavně v podobě křivek definujících obrysy ploch těla přístroje. Plochy samotné jsou vždy mírně prohnuté. Jednoduché tvarování má zároveň své opodstatnění i ve vztahu k funkci přístroje. Jedná se o lékařský přístroj, na který je kladen požadavek jednoduché údržby a udržitelnosti čistoty. Tomuto požadavku odpovídá snaha o co nejkompaktnější tělo přístroje s minimalizováním těžko dostupných míst při čištění. Tvarové zjednodušení a celistvost jsou také přínosem pro obsluhu přístroje nejen při údržbě, ale i při výkonu práce, protože jsou ovládací prvky díky tomu přehledněji umístěny. Cílovou oblastí použití jsou navíc radiologická oddělení nemocnic a při návrhu se tedy počítá, že budou přístroj obsluhovat proškolení pracovníci.



Obr. 6-1 Hmotové provedení

Při návrhu musely být zahrnuty také další faktory ovlivňující celkový vzhled především z funkčního a praktického hlediska. Na přístroji byly omezeny ostré rohy a hrany z důvodu zvýšení bezpečnosti a zároveň lepší manipulovatelnosti vůči okolí. Rozměry přístroje (důležité pro následné proporce) jsou voleny v závislostech na rozměrech prostředí, kde se bude přístroj pohybovat (šířka a výška dveří, rozměry výtahu). Celkový výraz designu měl také za cíl mírné odlehčení od mnohdy příliš tíživé vážnosti přístroje, u kterého je průběh vyšetření bezbolestný.

### 6.2 Tvarové řešení

Na rozdíl od první variantní studie, ze kterého finální řešení vychází, je celková hmota těla přístroje brána jako jedno těleso. Velikost přístroje a rozmístění hmoty je navrženo k optické stabilitě (vyvážení přístroje při vyklopeném rameni).

Přední noha, na které jsou upevněna přední kola, opticky navazuje na spodní plochu až do zadní části k zadním kolům, kde se tato plocha zvedá až k hlavnímu displeji. Hrana mezi touto plochou, čelní plochou a bočnicemi, je navázána proměnným zkosením. Tím na hranách vznikla nová plocha, která vytváří spojitou linii obepínající a sdružující celý přístroj do kompaktního celku. Tyto linie také vytvářejí vodítko pro pozorovatele. Jeho zrak je pomocí těchto hran veden z jedné části přístroje na druhou a opět se vrací do výchozího bodu. Tyto linie tedy vytvářejí harmonický průběh členění ploch, který má na pozorovatele uklidňující účinky. Na zadní straně jsou také madlo a ostatní prvky (slot pro detektor, držák dálkového ovladače, zámek zapínání a datové výstupy) zapuštěny do hmoty přístroje, aby nenarušovaly jeho jinak čistou boční linii a zachovaly tak celistvost.



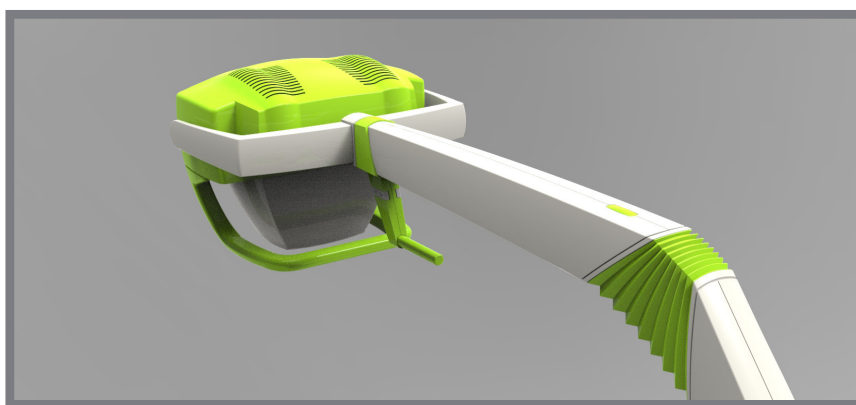
Obr. 6-2 Zabudovaný slot pro detektor a ovládací prvky

Přední kola jsou upevněna uvnitř krytu, jehož boční plochy jsou tvarované v návaznosti na bočnice těla přístroje. Celkově jsou potom posunuta více do středu, aby nenarušovala linii procházející po spodní hraně přední nohy a při zatáčení příliš nevybočovala a nezvětšovala tak šířku. Boční plocha krytu předních kol je narušena otvorem, který slouží k vedení páky, na které je kolo připevněno a zároveň slouží k vizuální kontrole zatížení.

Dominantním prvkem na těle přístroje je středová plocha, rozdělující celou hmotu na dvě základní části. Toto odsazení (umocněno nejen odsazením směrem dovnitř, ale i změnou barvy) má za následek optické odlehčení hmoty u hlavního displeje, logické narušení a oživení jinak jednoduché boční plochy a optické posunutí těžiště směrem k zadním kolům. Linie, kterou vytváří hrana mezi touto středovou plochou a bočnicemi, je zároveň jistým logickým spojením mezi ramenem s rentgenkou a hlavním displejem, na kterém se výsledný snímek zobrazí. Pro snadnější údržbu je tato hrana nakloněna směrem ven. Toto zkosení také logicky koresponduje s nakloněním na vnějších hranách rentgenu. Aby bylo dosaženo určité homogenности středové plochy, nejsou hrany mezi vrchní plochou a bočními plochami jako jediné na celém těle rentgenu zkoseny, ale zaobleny. Toto zaoblení je proměnné a směrem od hlavního displeje se rozšiřuje až k horní čelní hraně, kde je ukotveno rameno.



Ukotvení ramene na konstrukci těla rentgenu je provedeno pomocí kloubu (zajišťujícího naklápění ramene), který je připevněn na základní díl umožňující otáčení celého ramene kolem vertikální osy. Tento díl tvořící základnu ramene plynule navazuje na okolní plochy, od kterých je odlišen kruhovou spárou zároveň definující jeho rotační pohyb. První kloub ramene připevněný na tento základní díl je zakryt gumovou manžetou, která vytváří určitou optickou návaznost a pokračování hrany ramene i při různých úhlech naklápění. Stejná manžeta je použita i u druhého kloubu spojujícího první a druhý díl ramene. Tvar ramene je mírně zakřivený tak, aby korespondoval s křivkami, které definují základní obrys těla rentgenu. Průřez ramene je ve tvaru obdélníku s mírně vypouklými stěnami. Technologická spára je umístěna na horních a spodních stranách obou dílů ramene, aby nerušila hladký povrch při bočním pohledu. Obě části ramene jsou tak rozděleny na dva díly. Druhá část ramene je zakončena vidlicí, ve které je uchopena hlava s rentgenkou. Napojení vidlice na rameno je rozděleno na dvě části. První část tvoří zakončení samotného ramene a vychází z něj úchopová rukojeť. Druhou částí je vidlice, která je s první částí rotačně spojena a umožňuje tak její otáčení kolem osy ramene. Tvar vidlice opakuje způsob, jaký byl uplatněn u ramene. Všechny hrany jsou mírně zakřivené a shodují se s liniemi na těle přístroje.



Obr. 6-3 Zabudovaný slot pro detektor a ovládací prvky

Tvar hlavy rentgenky je z velké části dán rozměry a uspořádáním vnitřních komponent. Dominantně na její podobu hlavně působí rentgenka umístěná v horní části hlavy, kdy je podle ní organicky tvarována (prohnuta) vrchní plocha hlavy. Do této plochy jsou prolisovány větrací otvory, které kromě funkčního významu zároveň zdůrazňují její prohnutí. Spojení vidlice s hlavou rentgenky je umístěno na vrchní části v bodě, kudy prochází osa rotace anody v rentgence. Čelní stěna hlavy je také rozdělena prolisem, který je rovnoběžný s vrchní plochou. Na bocích je také rovnoběžně odsazen a vytváří tak hranu, která opticky přechází do spodní části a tam se střetává s vnější hranou rukojeti. Spodní otočnou část tvoří těleso kolimátoru ze tří stran obklopeného rukojetí. Na čelní straně, která má tvar lichoběžníku s opět konvexně vypouklými hranami, je umístěn dotykový displej. Horní hrana displeje je zarovnána s vrškem kolimátoru a určuje tak předěl mezi ním a vrchní částí s rentgenkou. Tvar displeje potom kopíruje lichoběžníkový tvar čela.



## 7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Důležitou součástí návrhu je i správná volba barev a jejich kombinací. Barva je prostředkem pro umocnění designérského návrhu a vyjádření pocitů a nálad, které by měl přístroj vyjadřovat. Práce s barvami také ovlivňuje tvar přístroje. Může hmotu tělesa opticky zvětšit, zmenšit, odlehčit nebo zdůraznit těžiště. Má vliv na zvýraznění nebo naopak potlačení linií, oddělení nebo odlišení ploch. Různé barvy mají také svůj výraz, určitou symboliku vyplývající z kulturního prostředí, ze kterého pozorovatel pochází. U nemocničních (lékařských) přístrojů je barevnost dána především psychologickým působením na člověka a to tak, aby byla vyjádřena čistota (sterilita) a klid. U většiny současných lékařských zařízení je barevnost také z velké části dána výrobcem. Slouží zde tedy také jako způsob odlišení a jako součást vizuálního stylu firem.

### 7.1 Barvy

Barevné řešení se sestává ze dvou základních barev. Jako hlavní barva je zvolena barva bílá. Jedná se o radostnou, povzbudivou barvu, která dodává přístroji výraz elegance a čistoty. Povrch je záměrně volen lesklý. Tento typ povrchu působí na pozorovatele odlehčeným dojmem a snižuje těžiště.[11]



Obr. 7-1 Barevné varianty

K bílé barvě je zvolena světle zelená doplňková barva [R: 145, G: 254, B: 10]. Zelená barva je vývojově nejstarším barevným odstínem. Je spjata s přírodou a působí příjemně a uklidňujícím dojmem. Je symbolem jistoty a bezpečí. Je také považována za barvu ochraňující a přinášející naději. Do nemocničního prostředí se hodí hlavně díky pocitu čistoty, který také přináší. Zelená je mírně smíchána se žlutou barvou a výsledný odstín tak působí teplejším dojmem. Povrch dílů je také záměrně volen lesklý. Kromě odhmotňujícího dojmu také prohlubuje barevný odstín, který je tak sytější a zvyšuje se síla barevnosti.[11]

Druhé barevné řešení počítá také s bílou základní barvou použitou na hlavní hmotu tělesa přístroje. Jako druhá doplňková barva je zvolena modrá až tyrkysová barva [R: 19, G: 206, B: 162]. Tato barevná kombinace vychází z řešení, jaké je v současné době u nemocničních přístrojů a vybavení nejběžnější a nejpoužívanější. Modrá barva je také výrazem klidu, spokojenosti a čistoty.



Barevné odlišení jednotlivých dílů je voleno funkčně - barvou jsou odděleny ovládací prvky (hlavní pojezdové madlo, rukojeť na rameni sloužící k jeho aretaci a ovládání, páka na aretačním výstupku a rukojeť na hlavě rentgenky). Další plochy, které jsou barevně odděleny, jsou pohyblivé díly (manžety u ramenních kloubů, středy zadních a předních kol a kryty předních kol). Poslední barevně oddělené plochy jsou hlavní plocha uprostřed těla rentgenu, wifi přijímač na druhém dílu ramene a vrchní díl hlavy rentgenky. Záměr oddělení těchto ploch je čistě logický. U hlavní středové plochy, která rozděluje hlavní hmotu přístroje, se jedná o podtrhnutí již tvarového předělu, a umocnění záměru optického odlehčení. Záměr zabarvení plochy přijímače wifi je narušení stereotypnosti rovné horní plochy ramene.

Vrchní plocha hlavy rentgenky je barevně odlišena jako logická návaznost horní plochy na rukojeť ve spodní části a zároveň zdůrazňuje záměr optického průniku dvou ploch (vrchní a spodní plochy tvořící kolimátor)

Další barvy jsou použity na odlišení ovladačů a sdělovačů. Nejdominantnějším ovladačem je nouzový vypínač umístěný těsně pod hlavním displejem. Použité barvy jsou voleny v souvislosti se zažitými konvencemi - samotné tlačítko má sytě červenou barvu v kombinaci se žlutou, která je použita na okrajový díl tvořící spoj mezi vnější plochou a tlačítkem. Tato kombinace barev má zároveň funkci jako určitý akcent, oživení přístroje. Ke spouštění přístroje slouží dálkový ovladač se dvěma ovladači. První má oranžovou barvu a spouští kontrolní prosvětlení kolimátoru. Druhé hlavní tlačítko ovládá zapnutí rentgenky. Podle důležitosti ovladačů, je toto tlačítko zabarveno do výraznější červené barvy.



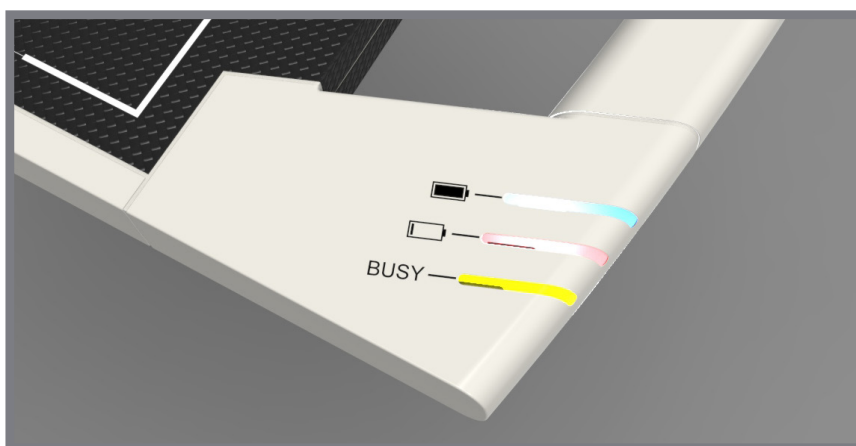
Obr. 7-2 Barevné řešení displeje pro nastavování parametrů expozice

Výrazné barevné zviditelnění je také použité na spodní části hlavního displeje, která slouží k nastavování parametrů důležitých k procesu vytvoření snímku. Na tomto displeji se zobrazují dvě základní veličiny (napětí [kV] a proud za čas [mAs]). Vedle těchto zobrazených veličin se nacházejí ovladače sloužící ke změně parametrů. Spolu s těmito informacemi je na displeji také zobrazen stav nabití hlavní baterie. Barevné provedení je voleno výrazné, protože se jedná o nejpoužívanější ovládací prvky, u kterých je kladen požadavek na jednoduché a snadné odečtení i z větší vzdálenosti. Hodnoty parametrů jsou tedy ve výrazné červené barvě. Ovládací prvky sloužící ke změně parametrů jsou v barvě modré spolu se sdělovačem oznamujícím stav nabití baterie.

Na detektoru jsou umístěné tři sdělovače - první dva indikují stav nabití baterie a třetí informuje o procesu zpracovávání dat. Stav nabití baterie je oznamován sdělovačem - nízký stav, ten je proveden ve výstražné barvě a provozní stav, ten je proveden v barvě modré. Třetí sdělovač informující o stavu zpracovávání dat je v barvě žluté. Na vršku madla je umístěn posuvný ovladač zapínání a vypínání detektoru. Od okolní bílé barvy je odlišen kontrastní černou barvou.

## 7.2 Grafika

Na přístroji jsou umístěné informační grafické prvky u ovladačů. Na detektoru je dominantním grafickým prvkem bílý obdélník, který ohraničuje aktivní plochu detektoru. Střed této plochy je určen křížem uprostřed obdélníku. Rohy a spoje stran jsou záměrně rozšířeny pro upoutání pozornosti. Sdělovače na horní hraně detektoru u madla jsou popsány pomocí grafických symbolů znázorňujících nabitou a vybitou baterii. U sdělovače informujícího o zaneprázdněnosti detektoru při zpracovávání dat je umístěn anglický nápis „busy“. Na opačné straně madla, kde je umístěn ovladač zapínající a vypínající detektor, jsou umístěny nápisy „on“ a „off“. Tento ovladač má dvě pracovní polohy a nápisy jsou ke každé poloze připojeny tak, aby uživatele informoval, v jaké poloze se vypínač nalézá.



Obr. 7-3 Grafické vysvětlivky u kontrolních diod na detektoru

V zóně pro nastavování parametrů expozice u hlavního displeje jsou obě pole zobrazující hodnoty těchto parametrů popsány pomocí jednotek uváděných veličin. Popisy jsou umístěny nad levým ovladačem každého pole a jsou provedeny v bílé barvě na černém pozadí.

Další grafické prvky jsou piktogramy na dálkovém ovládání. Slouží k identifikaci účelu dvou tlačítek. Na menším oranžovém ovladači sloužícím k prosvětlení kolimátoru je umístěn piktogram zobrazující zářící žárovku. Na ovladači spouštějícím rentgenku (po prvním stisknutí je uvedena anoda do rotace, po druhém stisknutí dochází ke generování rentgenového záření) je zobrazena stylizovaná anoda. Obsluhu přístroje obstarávají proškolení pracovníci, pro které je tvar i funkce anody známa a jedná se pro ně tedy o piktogram dobře pochopitelný.

Nouzové tlačítko má na horní ploše umístěné (vylišované) typické tři šipky, které se v kruhu sledují. Od červeného tlačítka jsou odlišeny bílou barvou.

Na tlačítkách sloužících k ovládání pojezdu přístroje při manipulaci s ramenem, která jsou umístěna na rukojeti na konci prvního dílu ramene, se nacházejí vysvětlující piktogramy. Jedná se o jednoduché šipky v černé barvě na bílých tlačítkách. Šipka určuje směr pohybu.

### 7.2.1 Název a logotyp

7.2.1

Název přístroje je zvolen ELIMOB. Tento název vychází z anglického slova mobile, které v překladu znamená pohyblivý, mobilní a vyjadřuje možnosti rentgenu jako mobilní jednotky.

Logotyp se sestává ze samotného názvu provedeného ve fontu Helvetica. První písmeno „e“ je umístěno v grafickém prvku představující dominantní linii na bocích přístroje, která je hlavním, pozornost upoutávajícím bodem v tvarovém řešení. Zbytek logotypu je tvořen textem. Velikost těchto písmen je záměrně volena menší tak, aby velikost písmen „l“ a „b“ byla zarovnána s velikostí prvního písmene „e“.

Logotyp je na přístroji umístěn na nakloněné ploše v zadní části u slotu pro detektor.



Obr. 7-4 Návrh loga

Jedná se o umístění, které je částečně zabudované do hlavní hmoty těla přístroje. Tím, že leží mimo tyto hlavní plochy, nenarušuje celkovou tvarovou čistotu. Nicméně je dobře pozorovatelné protože se nachází v blízkosti ovládacích prvků, které tvoří aktivní zónu při obsluze.

Barevné řešení logotypu se sestává ze dvou barev. První písmeno „e“ tvořící značku je provedeno v barvě závislé na druhé doplňkové barvě celého přístroje, aby nenarušovalo barevné souvislosti a doplňovalo přístroj do sladěného celku. Zbytek logotypu, který tvoří text, je v základním provedení řešení šedou barvou [R: 88, G: 88, B: 91]. Při použití logotypu na přístroji je také možná varianta, kdy je text místo šedé barvy proveden z matného nebo broušeného hliníku bez povrchové úpravy a přejímá tak jeho barvu.

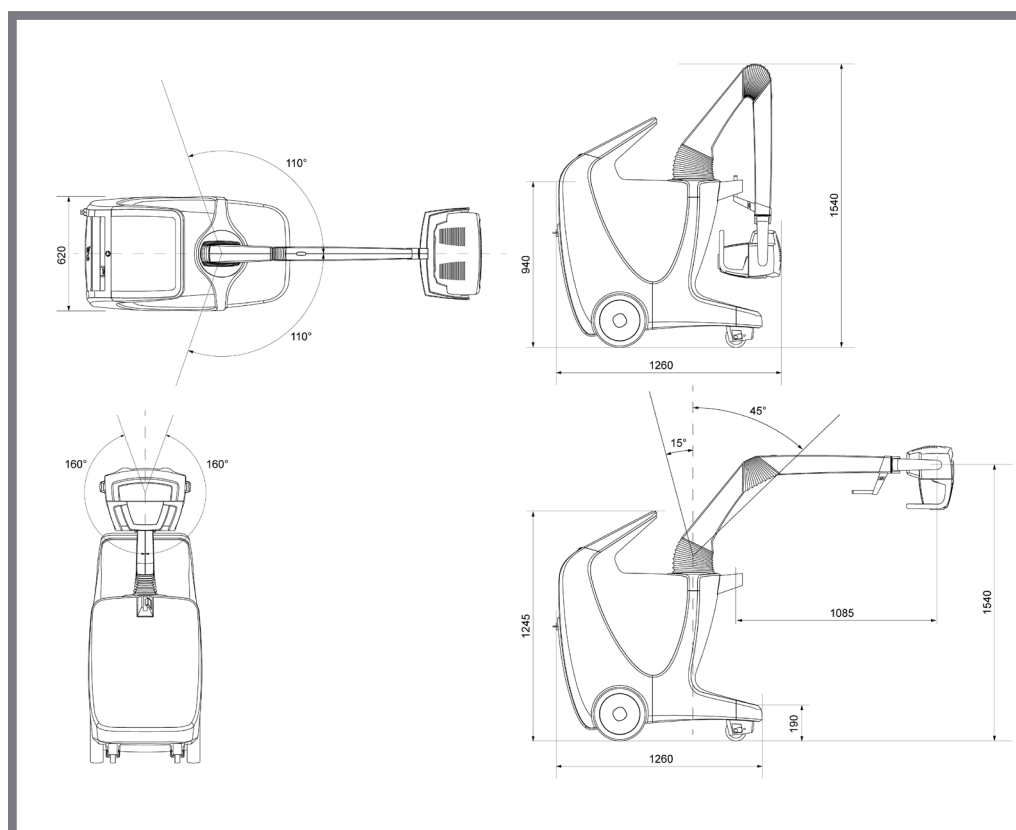
Provedení logotypu na přístroji je tedy možné ve dvou variantách. První varianta je potisk v barvě přímo na určitou součást. Druhá možnost se sestává z hliníkových dílů, které jsou na přístroj dodatečně připevněny. Tato druhá možnost provedení logotypu z hliníku vystupuje nad povrch a vytváří tak na logotypu dojem plastičnosti. Použitý materiál logotypu má navíc navodit pocit větší exkluzivity a solidnosti výrobku.

## 8 KONSTRUKČNĚ - TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ

### 8.1 Rozměry

Rozměry přístroje při sklopeném rameni jsou 1260 mm na délku a 1540 mm na výšku. Šířka rentgenu je 620 mm. Maximální dosah ramene je 1420 mm od středu otáčení (ukotvení k tělu přístroje) do délky a 2300 mm do výšky (od země).

Rozměry detektoru jsou 560 mm x 340 mm a tloušťka je 19,50 mm. Aktivní plocha detektoru má potom rozměry 430 x 350 mm.



Obr. 8-1 Základní rozměry

### 8.2 Rozvržení a rozbor komponent

Základním komponentem v přístroji je rentgenka produkující rentgenové záření. Ta je umístěna na konci ramene ve vidlici. Pod rentgenkou je umístěn kolimátor, sloužící k určení oblasti, na které se bude snímek vytvářet a zároveň slouží k usměrnění rentgenových paprsků. Na rentgenku musí být přivedeno velmi vysoké napětí (anodové napětí) a tzv. „žhavení“ (přiváděné na katodu). Pro transformaci napětí jsou určeny dva generátory (vysokonapěťový transformátor a žhavicí transformátor). Ty jsou umístěny v prostoru uprostřed těla rentgenu.

Pohyb přístroje obstarávají dva nezávislé elektromotory umístěné v prostoru mezi zadními koly. Napájení přístroje obstarávají bezúdržbové olověné akumulátory. Vzhledem k jejich větší váze jsou umístěny v prostoru na spodku přístroje mezi předními a zadními koly, aby snížily těžiště a zvýšily stabilitu. Pro nabíjení slouží přívodní kabel se zástrčkou, který je umístěn na zadní straně nalevo, těsně pod slotem pro detek-

tor. Přední kola jsou otočná kolem vertikální osy a odpružená. Rozvor mezi předními a zadními koly činí 636 mm.

Na zadní straně přístroje je umístěn slot pro umístění detektoru během převozu. Zároveň slouží i jako nabíjecí stanice pro lithiové baterie v detektoru. Nad slotem je madlo sloužící pro ovládání pohybu přístroje. Na horní ploše je potom hlavní dotykový displej pro nastavování parametrů a náhledy a úpravy snímků.



Obr. 8-2 Grafické vysvětlivky u kontrolních diod na detektoru

### 8.2.1 Rentgenka

8.2.1

Zvolená konstrukce rentgenky se sestává ze dvou základních součástí - anody a katody. Na katodu je přivedeno tzv. „žhavicí napětí“ (0-12V), které uvolní mrak elektronů. Následná interakce elektronů s anodou produkuje rentgenové záření. Na anodu je potom přivedeno tzv. „anodové napětí“ (30 - 140 kV). Anoda má tvar disku se zkosenou hranou, na kterou dopadají elektrony, a obvykle bývá vyrobena z wolframu. Úhel sražení je důležitý pro velikost optického ohniska. Podle rentgenky vyráběné firmou siemens byl úhel zvolen  $15^\circ$  s velikostí optického ohniska 0.8 mm. Anoda je z důvodu chlazení rotačně uložena uvnitř skleněné vakuové trubice. Vně vakuové trubice je umístěn stator pohánějící anodu. Okolí kolem trubice je navíc zaplněno chladícím médiem (obvykle olejem). Rentgenka je uložena v kovovém pouzdru zabraňujícím vyzařování mimo určený směr (stíněno pomocí olova).[13]

### 8.2.2 Kolimátor

8.2.2

Kolimátor je zařízení umístěné na výstupu rentgenky. Sestává se z clon, které slouží ke geometrickému vymezení snímané oblasti. V kolimátoru je nainstalováno světelné zařízení sloužící k prosvětlení zařízení (světelné paprsky procházejí zařízením stejně jako rentgenové paprsky) a podle osvětlené oblasti se potom určuje nastavení požadované velikosti průřezu na výstupu. Zároveň také slouží jako filtr pohlcující rozptýlené nízkoenergetické fotony, které by při vyšetření měli vliv na zhoršenou kvalitu obrazu. Zároveň by také měli neblahý vliv na zvýšené zatížení pacienta.[13]

### 8.2.3 Generátor (transformátor)

Rentgenka vyžaduje napájení elektrickým proudem, který je transformován ze dvou základních transformátorů.

První transformátor je tzv. „žhavicí“ transformátor a slouží k přivedení „žhavicího napětí“ na katodu. Hodnota tohoto napětí je poměrně nízká a pohybuje se v rozmezí od 6 - 12V a proudu o hodnotách 0.5 - 10A.

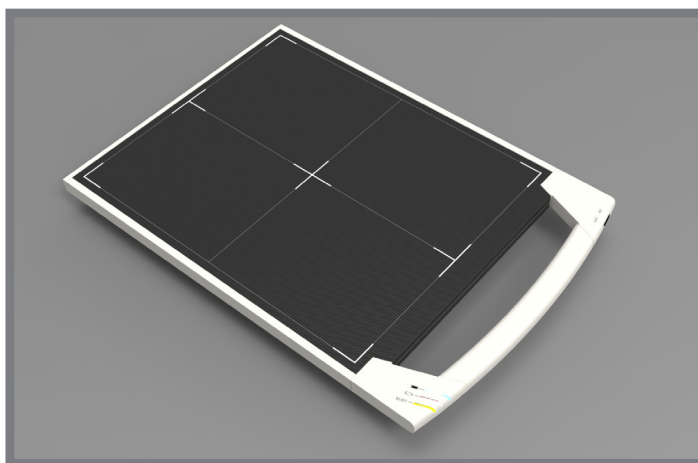
Druhý transformátor je vysokonapěťový transformátor zvaný také generátor. Slouží k transformaci na vysoké napětí tzv. „anodového napětí“ přiváděného na anodu. Toto napětí má vysoké hodnoty. U mobilních rentgenů se pohybují v rozmezí od 30kV do 140kV.

Regulováním výstupních hodnot z transformátorů se nastavuje expozice snímku. Pro správné nastavení expozice jsou důležité hodnoty anodového napětí [kV] a proudu na katodě za jednotku času [mAs]. Hodnoty expozice se liší v závislosti na vyšetřované oblasti a jsou stanoveny na základě zkušeností.[13]

### 8.2.4 Detektor

Nejmodernějším způsobem pro detekování rentgenového záření a rekonstruování snímku je technologie plošného detektoru tzv. „flat panel detektor“. Tato technologie se dělí na dva základní principy podle převodu záření na elektrický signál - nepřímou a přímou digitalizaci.

V současné době patří mezi nejpoužívanější a nejdostupnější detektory s nepřímou digitalizací. Rentgenové záření nejdříve prochází filtrovací mřížkou, která odstraní rozptýlené fotony, a poté fotony dopadají na scintilační vrstvu detektoru, kde jsou přeměněny na světelné záření ve viditelném spektru. Pomocí fotodiod, je toto záření přeměněno na elektrický signál snímaný maticí TFT tranzistorů (thin film tranzistor). Takto vzniklý signál je poté odečten a pomocí něho je zrekonstruován výsledný obraz. Přenos signálu z detektoru do přístroje je bezdrátový. Přijímač signálu je umístěn na druhém dílu ramene u kloubového spoje.[13]



Obr. 8-3 Flat panel detektor

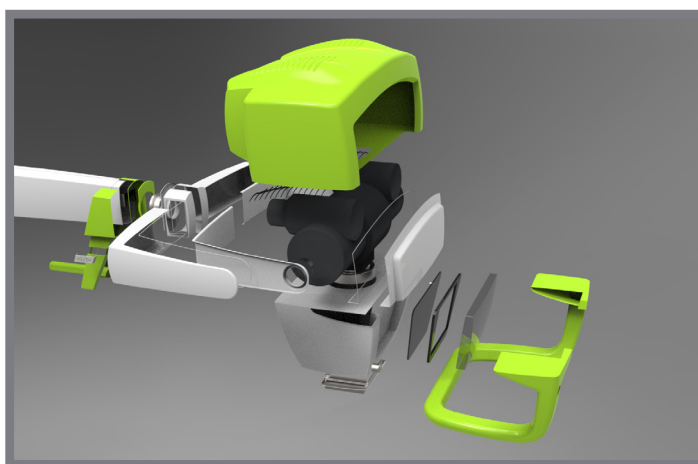


### 8.2.5 Zarovnání rentgenky s detektorem

Systém zarovnávání rentgenky vůči detektoru usnadňující dosažení optimálních podmínek pro vytvoření snímku vychází ze systému použitého u mobilního rentgenu firmy Carestream.

Tento systém se skládá ze dvou vysílačů elektromagnetického pole připevněných na spodní ploše kolimátoru. Na detektoru je potom umístěno osm přijímačů v rámu kolem aktivní plochy.

Vysílače vysílají elektromagnetická pole o různých intenzitách a fázích. Každý snímač vygeneruje vlastní sinusový průběh snímání, které jsou následně pomocí softwaru porovnávány a ve výsledku jsou interpretovány v grafickém provedení na displeji na kolimátoru jako zobrazení vzájemné polohy detektoru a rentgenky.[20]



Obr. 8-4 Konstrukce uložení rentgenky

### 8.2.6 Dálkový ovladač

Spouštění rentgenky je ovládáno pomocí dálkového ovladače. Je použit běžný typ ovladače napájený AA bateriemi a využívající infračervenou LED diodu. LED dioda emituje infračervené světlo o určité frekvenci, které je modulováno do stanoveného protokolu a vyzařováno do přijímače. Přijímač potom vyhodnotí obdržený signál a následuje určená operace.[12]

### 8.2.7 Madlo

Ovládání motorů u zadních kol sloužících k pohybu přístroje je řešeno pomocí ručně ovládaného madla. Madlo má válcový průřez a na obou koncích je pomocí pružin upevněno k tělu přístroje. Konce madla jsou opatřeny magnety, které se nacházejí uprostřed Hallova senzoru. Pokud je madlo v klidu, Hallovy senzory detekují nominální hodnotu magnetického pole a nevysílají žádný signál. Při použití síly na madlo (zatlačení na madlo obsluhou) dojde k jeho posunutí a to má za následek vychýlení magnetického pole. Hallovy senzory detekují tuto změnu a vyšlou do motoru odpovídající signál (závislý na směru a velikosti použité síly na madlo). Výsledkem silového působení na madlo je potom rozjetí přístroje ve směru silového působení, rychlostí odpovídající velikosti této síly.[21]

### 8.2.8 Dotykový displej

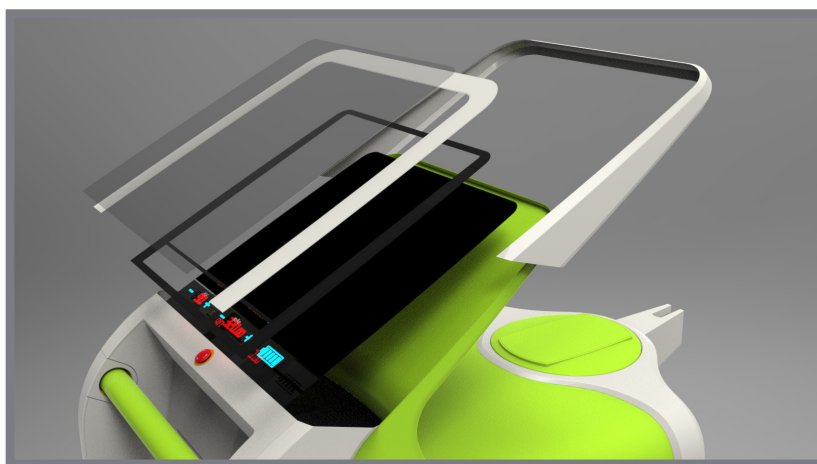
Při návrhu byly zohledněny dva principy dotykových displejů. Resistivní (odporový) a kapacitní. Jako finální řešení byl zvolen kapacitní displej, který nejlépe vyhovoval kladeným požadavkům.

Kapacitní dotykový displej funguje na principu vodivosti. Skleněný panel je pokryt tenkou vodivou vrstvou, na kterou je v každém rohu vedeno napětí a vytváří se tak jednotné elektrické pole. Při dotyku prstu na obrazovku je uzavřen elektrický obvod a vznikne odpor, který je změřen a je vypočítána poloha dotyku.

Oproti rezistivnímu displeji má kapacitní displej výhodu v odolnosti – vnější povrch je vyroben ze skla oproti odporovému displeji, kde je povrch tvořen pružným materiálem. Sklo má výhodu jednodušší údržby a má větší odolnost. Vnější vrstva má také vliv na jasnost, která je u kapacitního displeje podstatně větší spolu s rozlišením (důležité pro správné zobrazení rentgenového snímku)

Nevýhodou kapacitních displejů oproti odporovým, je nutné ovládání pouze pomocí vodivého materiálu (vodivý stylus, prst). U ovládání na mobilním rentgenu se nicméně počítá s ovládáním prstem.

Stejná technologie kapacitního displeje je použita také pro sekundární malý displej na hlavě rentgenky.[14]



Obr. 8-5 Hlavní displej

Hlavní displej je rozdělen na dvě základní části (zóny). Větší zóna je umístěná v horní části a slouží k ovládání systému, náhledu snímků a jejich postprodukci. Spodní úzká část slouží k ovládání a nastavování parametrů expozice. Tato zóna displeje se skládá ze dvou červeně podsvícených LED displejů (zobrazujících určené parametry) a po stranách každého LED displeje jsou umístěny kapacitní dotykové ovladače (modře podsvícené). Na pravé straně se nachází sdělovač informující o stavu baterie. Jedná se o piktogram zobrazující stylizovanou baterii, jejíž střed se skládá z pěti dílků. Celé je to podsvíceno modrými LED diodami, které signalizují vybíjení baterie postupným zhasíním.[14]

### 8.2.9 Datové výstupy

Rentgenový snímek je okamžitě po vytvoření a odečtení z detektoru bezdrátově odeslán do hlavního počítače v přístroji. Tam je uložen do paměti podle zadaných para-



metrů v operačním systému (V systému jsou uložena data pacienta - každý pacient má svoji složku - podle kterých jsou snímky tříděny a uchovávány). Jednoduchý operační systém také dovoluje drobné úpravy snímku přímo na místě.

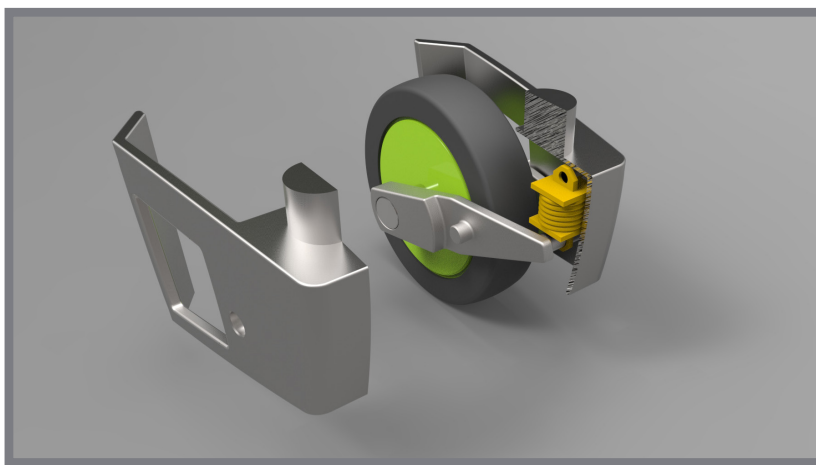
Další zpracování dat je možné několika způsoby. Přístroj je možné propojit s nemocniční sítí pro sdílení dat diagnostických přístrojů pomocí systému DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), který propojuje jednotlivé přístroje (CT, MRI, rentgeny), ukládá zaslaná data na úložiště, ze kterého můžou být okamžitě zobrazena lékařem. Toto propojení je prostřednictvím bezdrátové sítě wifi. Pro případ neúspěšného bezdrátového připojení, je na zadní části přístroje v prostoru pod madlem umístěna síťová přípojka. Vedle ní se nacházejí dva USB vstupy pro přenos dat pomocí USB flash disku. [19]

#### 8.2.10 Podvozek

8.2.10

Zadní kola jsou hnaná elektromotory. Rozměry zadních kol jsou 285 mm v průměru a šířka 70 mm. Kola jsou plná s měkkým gumovým povrchem, který mírně tlumí rázy a ochraňuje se tak nejen samotný přístroj ale i povrch podlahy, po které se přibližně 500 kg rentgen pohybuje.

Přední kola mají průměr 110 mm a šířku 27 mm. Kola jsou otočná, upevněná v odpružené konstrukci. Konstrukce se skládá z ocelového krytu, který je na přední straně otočně spojen k hlavní konstrukci přístroje. K vnějšímu krytu je uprostřed pomocí čepů připevněna páka. Na jedné straně je na hřídeli upevněno kolo a na druhé straně je páka uchycena tažnou pružinou.



Obr. 8-6 Přední odpružené kolo

### 8.3 Konstrukce a materiály

8.3

Základem konstrukce je nosný skelet, na který jsou připevněny jednotlivé plastové díly tvořící vnější plochy. V přední části je připevněno rameno na otočném prvku s kloubem. Kostru ramene tvoří U profil přivařený ke kloubu. Obdobně je konstruován i druhý díl ramene. Na konstrukci ramene je kladen nárok o co největší snížení hmotnosti a z toho důvodu jsou vhodným materiálem slitiny hliníku.

Materiál bočních dílů je zvolen plast ABS (akrylonitril butadien styren). Díky své tvrdosti povrchu, tvarové stálosti a chemické odolnosti se jedná o jeden z nepoužívanějších plastů. Má velice dobrou povrchovou úpravu a lesklý povrch.[22]



## 9 ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU

9

### 9.1 Psychologická funkce

9.1

Jedním z hlavních cílů při návrhu bylo přiblížení přístroje k pacientovi a snaha o maximální omezení negativních představ o průběhu vyšetření. Oproštění se od příliš technického a těžkopádného vzhledu, který by působil příliš vážně a s určitou nadsázkou odlehčoval situaci.

Hlavní hmota těla přístroje je dělena na dvě hlavní části, které jsou také odlišené barvou. První část (vnější bílé plochy) tvoří opticky kompaktní těleso, na kterém jsou veškeré linie tvořící hrany propojeny do uzavřeného celku. Uzavřenost a logická návaznost těchto prvků tak nepůsobí na pozorovatele rušivým a rozptylujícím dojmem. Vzniklé linie obepínající těleso vedou zrak pozorovatele, který si tak vytváří jednotnou představu o rozčlenění a rozměrech přístroje. Oddělení středové plochy od hlavní hmoty tělesa má podobu určitého vyjmutí hmoty. Tím, že není hlavní (bílá) hmota na vrchní straně propojena, je vytvořen dojem optického odlehčení. Linie přechodu mezi těmito dvěma plochami ale zachovává propojení všech částí. Spáry oddělující členění jednotlivých ploch jsou záměrně voleny velmi malé, aby byl zachován dojem precizního dílenského zpracování a tedy solidnosti.

Barevné řešení je voleno takové, aby byl podtržen výraz čistoty a pořádku. Tyto vlastnosti symbolizuje právě základní bílá barva. Zelená doplňková barva symbolizuje klid, pohodu, jistotu a bezpečí. Modrá je barvou klidnou, symbolizující jemnost citu a spokojenost. Doplňkové barvy jsou účelně voleny syté na lesklém povrchu, který je ještě více podkresluje, aby přístroj nepůsobil příliš usedle, ale naopak živě a radostně.



Obr. 9-1 Elimob

### 9.2 Ekonomická funkce

9.2

Mobilní rentgen této kategorie spadá mezi lékařské přístroje jejichž pořizovací hodnota je kolem 1 000 000,- Kč. Jedná se však pouze o hrubou orientační cenu, která závisí na mnoha faktorech (místě výroby, použitých technologiích, potřebných surovinách), které nejsem schopen zcela odhadnout, protože se mohou v různých podmínkách v různých částech světa diametrálně odlišovat. Při návrhu konstrukce a použitých materiálů byl nicméně brán ohled na nenáročnost a dostupnost technologií výroby.

Při návrhu technického řešení byl zohledněn současný stav poznání a navržené technologie by měly přinést úsporu při provozu. Použití bezdrátového digitálního detektoru zjednodušuje, urychluje a zlevňuje proces vytváření snímku. Na rozdíl od původních analogových přístrojů odpadá potřeba vyvolávat snímek na fólii z kazet a v případě chybné expozice je možnost okamžité kontroly na displeji a opakovaného vytvoření snímku. Moderní řízení expozice a chodu rentgenky také šetří její životnost. Tyto aspekty také přispívají k celkovému zlevnění procesu práce.

---

### 9.3 Sociální funkce

Navržený přístroj je určen pro nemocniční prostředí, ve kterém se pohybuje mnoho lidí nejen z různých částí světa a tedy různých kultur, ale i z odlišných sociálních vrstev a různých životních prostředí. Vyšetření je také prováděno na pacientech různých věkových skupin. Tato velmi široká specifikace klade velké nároky na splnění velmi rozličných požadavků a zájmů společnosti.

Jedním z požadavků jsou také nároky kladené na obsluhu přístroje. Při návrhu se počítá, že obsluhu přístroje budou provádět radiologičtí pracovníci, kteří mají zkušenosti s ovládáním diagnostických přístrojů. Ovládací prvky jsou tomu podřízeny. Při návrhu byla snaha o jejich minimalizování za účelem zjednodušení a tedy zrychlení práce. Zjednodušení a zpřehlednění ovládání má také za cíl případné minimalizování vzniku případné chyby, která by mohla mít vliv na nesprávný chod přístroje, nebo by mohla rentgen poškodit. Návrh si také klade za cíl přínos ve zjednodušení údržby přístroje. Ve vztahu k pacientovi přináší přístroj již zmíněné příjemnější psychologické působení. Ve výkonu práce má přístroj přínos ve zlepšení podmínek vyšetření díky použitým technologiím. Digitalizace umožňuje použití kratších expozic při zajištění stejné obrazové kvality. Tím se zkracuje doba vyšetření a vystavení pacienta dávce radioaktivního záření.





## ZÁVĚR

---

V analytické části diplomové práce je představena historická analýza, ve které jsou zmíněny okolnosti objevu rentgenových paprsků, jejich postupné využívání v oblasti lékařské diagnostiky a historie prvních mobilních rentgenů. V technické analýze je představen rozbor nejdůležitějších komponent mobilního rentgenu a jejich současný stav poznání. V designérské analýze jsou představeny hlavní firmy zabývající se výrobou mobilních rentgenů a jejich hlavní produkty.

Ve druhé části práce jsou představeny a zhodnoceny variantní studie designu, které představují průběh práce a různé ideje vedoucí k finálnímu řešení. V dalších kapitolách je rozveden popis již dopracovaného finálního řešení. Jsou zde představeny detaily a záměry tvarového řešení, barevného řešení, ergonomické aspekty a konečné technické specifikace, které jsou zde z důvodu komplexní složitosti přístroje nastíněním možného řešení.

Výsledkem diplomové práce je návrh nemocničního mobilního rentgenu, jehož cílem bylo oproštění přístroje od příliš technického vzhledu. Vytvořit ho vizuálně přívětivějším a přiblížit ho tak blíže k pacientovi.

Ve vztahu k obsluze má potom přístroj za cíl zjednodušení obsluhy pomocí minimalizování ovládacích prvků a usnadnění údržby přístroje díky tvarovému pojetí dobře dosažitelných a minimálně rozčleněných ploch.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MOULD, R. F. The early history of X-ray diagnosis with emphasis on the contributions of physics 1895-1915. DOI: 10.1088/0031-9155/40/11/001.
- [2] HESSENBRUCH, Arne. A brief history of x-rays. December 2002, roč. 4, č. 26. ISSN 0160-9327. 10.1016/S0160-9327(02)01465-5.
- [3] Field Equipment & Supplies: U.S. Army X-Ray Field Unit. WW2 US Medical Research Centre [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: [http://www.med-dept.com/xray\\_equipment.php](http://www.med-dept.com/xray_equipment.php)
- [4] PALERMO, A. A Legacy of Caring – the History of Picker International. GEC REVIEW. 1995, roč. 10, č. 2, s. 103-119.
- [5] Siemens. SIEMENS. History of technology: Mobile X-ray equipment and specialized workstations (SP) [online]. [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <https://w9.siemens.com/cms/regionalreferat-erlnbg/en/suafm/tge/mobile/Pages/default.aspx>
- [6] ASSMUS, Alexi. Early history of x-rays. *Beam line*. 1995, roč. 25, č. 4, s. 10-24.
- [7] SEIBERT, J. Anthony. X-Ray imaging physics for nuclear medicine: Part1: basics principles of x-ray prodiction. 2004, roč. 32, č. 3.
- [8] BORISOV, A.A., Yu.A. VEIP, A.I. MAZUROV a M.B. ELISON. *Two Technologies for Designing Digital X-Ray Image Detectors*. *Biomedical Engineering*. 2006, roč. 40, č. 5.
- [9] EIBERT, J. Anthony. *Flat-panel detectors: how much better are they?*. 2006. DOI: 10.1007/s00247-006-0208-0.
- [10] One Hundred Years of Medical Radiology. M. K. THOMAS, Adrian. The British Society for The History of Radiology [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.bshr.org.uk/page13.html>
- [11] KULKA, Jiří. Psychologie umění. 2. dop. vyd. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2329-7.
- [12] BERGMANS, San. IR Remote Control Theory. SB - projects [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>
- [13] ULLMANN, Vojtěch. Aplikace Ionizujícího Záření: Jaderné a radiační metody. Astro Nukl Fyzika [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm>
- [14] Touch Screen Technology: Capacitive Touch Screen Technology. Touch Sreen: Middle East [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.touchscreen-me.com/technologies-comparison-capacitive.php>
- [15] Medical devices: Do It By Design - An Introduction to Human Factors in Medical Devices. SAWYER, Dick. U.S. Food and drug administration: protecting and promoting your health [online]. 2009 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/ucm094957.htm>
- [16] NEUFERT, Ernst. Navrhování staveb. 33. přepracované vydání. Praha: Consult invest, 1995, 581 s. ISBN 80-901-4864-6.
- [17] TILLEY, Alvin R. The measure of man and woman: human factors in design. Rev. ed. New York: Wiley, c2002, 98 p. ISBN 04-710-9955-4.
- [18] RUBÍNOVÁ, Dana. Metodika zahrnutí ergonomických aspektů do designérského návrhu. Brno: VUT FSI, 2002.



- [19] What is DICOM and why is it important?. FlatPanelDR: Direct Digital X-Ray Detectors [online]. November 11, 2010 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.flatpaneldr.com/?p=250>
- [20] CARESTREAM DRX-Revolution [pdf]. 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.carestream.com/drx-revolution.html>
- [21] PAJERSKI, Michael J., Steven J. GRAY, Gerald K. FLAKAS a Dennis J. COTIC. GENERAL ELECTRIC COMPANY. <i>Drive design for mobile x-ray units with dual wheel drives</i> [patent]. USA. 885484, 4697661 Uděleno Oct. 6, 1987. Zapsáno Jul. 14, 1986.
- [22] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie 1. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002, 266 s. ISBN 80-718-3262-6.



## SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

### Obr. Obsah

Obr. 1-1 Jeden z prvních z rentgenových snímků	17
Obr. 1-2 rentgen Waite & Barlett (1916-1918)	18
Obr. 1-3 zubařský rentgen z roku 1930 (navrhl Dr Waite)	18
Obr. 1-4 rozložený polní rentgen	19
Obr. 1-5 složený polní rentgen	19
Obr. 1-6 Mobilett XP digital od firmy Siemens	20
Obr. 1-7 rentgenky používané v letech 1895 - 1896	21
Obr. 2-1 schéma rentgenu	23
Obr. 2-2 schéma rentgenky a generátoru	24
Obr. 2-3 schéma rentgenky s kolimátorem	24
Obr. 2-4 řez detektorem pro přímou detekci	26
Obr. 2-5 řez detektorem pro nepřímou detekci	26
Obr. 3-1 Carestream DRX - revolution	28
Obr. 3-2 Vizualizace zarovnání rentgenky s detektorem	29
Obr. 3-3 Optima XR220amx	30
Obr. 3-4 Phillips MobileDiagnost wDR	31
Obr. 3-5 Schimadzu MobileDaRt	31
Obr. 3-6 Schimadzu MobileDaRt s dětskou grafikou	32
Obr. 3-8 grafika „žirafa“ na rameni s rentgenkou	33
Obr. 3-7 Siemens Mobilet Mira	33
Obr. 3-9 Toshiba IME-100L	34
Obr. 4-1 První skicy	35
Obr. 4-2 První skicy finálního řešení	36
Obr. 4-3 Skicy hlavy s rentgenkou	36
Obr. 4-4 Varianta I	37
Obr. 4-5 Varianta II	38
Obr. 4-6 Varianta II	39
Obr. 5-1 Ergonomie ovládání pojezdu, hlavního displeje a rentgenky	44
Obr. 5-2 Příklad možného nastavení rentgenu	45
Obr. 5-3 Ergonomie pojezdu, a pracovní prostor ramene	46
Obr. 5-4 Dálkový ovladač spouště	47
Obr. 6-1 Hmotové provedení	48
Obr. 6-2 Zabudovaný slot pro detektor a ovládací prvky	49
Obr. 6-3 Zabudovaný slot pro detektor a ovládací prvky	50
Obr. 7-1 Barevné varianty	52
Obr. 7-2 Barevné řešení displeje pro nastavování parametrů expozice	53
Obr. 7-3 Grafické vysvětlivky u kontrolních diod na detektoru	54
Obr. 7-4 Návrh loga	55
Obr. 8-1 Základní rozměry	56
Obr. 8-2 Grafické vysvětlivky u kontrolních diod na detektoru	57
Obr. 8-3 Flat panel detektor	58
Obr. 8-4 Konstrukce uložení rentgenky	59
Obr. 8-5 Hlavní displej	60

<b>Obr. 8-6</b> Přední odpružené kolo	61
<b>Obr. 9-1</b> Elimob	63



---

## SEZNAM PŘÍLOH

zmenšený postery (A4)  
fotografie modelu (A4)  
postery A1  
model







# DESIGN MOBILNÍHO RENTGENU SUMARIZAČNÍ POSTER



Elimob je mobilní rentgen určený pro použití v nemocnicích, k vytváření rentgenových snímků u pacientů, kteří se nemohou ze zdravotních důvodů přesunout do radiologické místnosti.

Design rentgenu si klade za cíl přiblížit přístroj více pacientům - důvěryhodnost, solidnost, a zároveň a usnadnit obsluhu pro personál.

Tělo přístroje je opticky kompaktní těleso, na kterém jsou veškeré linie tvořící hrany propojeny do uzavřeného celku. Uzavřenost a logická návaznost těchto prvků tak nepůsobí na pozorovatele rušivým a rozptýlujícím dojmem. Vzniklé linie obepínající těleso vedou zrak pozorovatele, který si tak vytváří jednotnou představu o rozčlenění a rozměrech přístroje.

Jedná se o přístroj s výkonem do 30 kW a možností okamžitého náhledu a úpravy vytvořeného snímku na dotykovém displeji. K detekci rentgenových paprsků slouží bezdrátový Flat-panel detektor. Pohyb přístroje vzhledem k jeho hmotnosti poháněm pomocnými elektromotory. Ovládání pojezdu přístroje je prostřednictvím madla v zadní části. Rentgenka je umístěna na kloubovém rameni, které se při převozu sklápí dolů a proti nechtěnému uvolnění je zajištěno aretačním držákem.

Hallův senzor kontrolní jednotka kolimátor rentgenka



generátor vysokého napětí

nabíjecí slot pro detektor elektromotor baterie

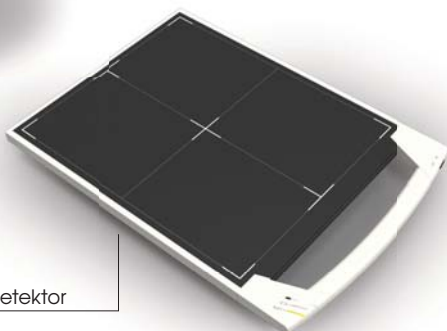
ustavování rentgenky nad pacienta



dálkový ovladač spouště

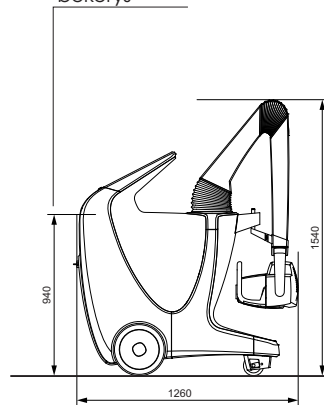


Bezdrátový Flat-panel detektor

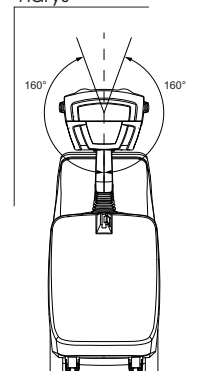


Technický náčrtek - (M 1:15, mm)

bokorys



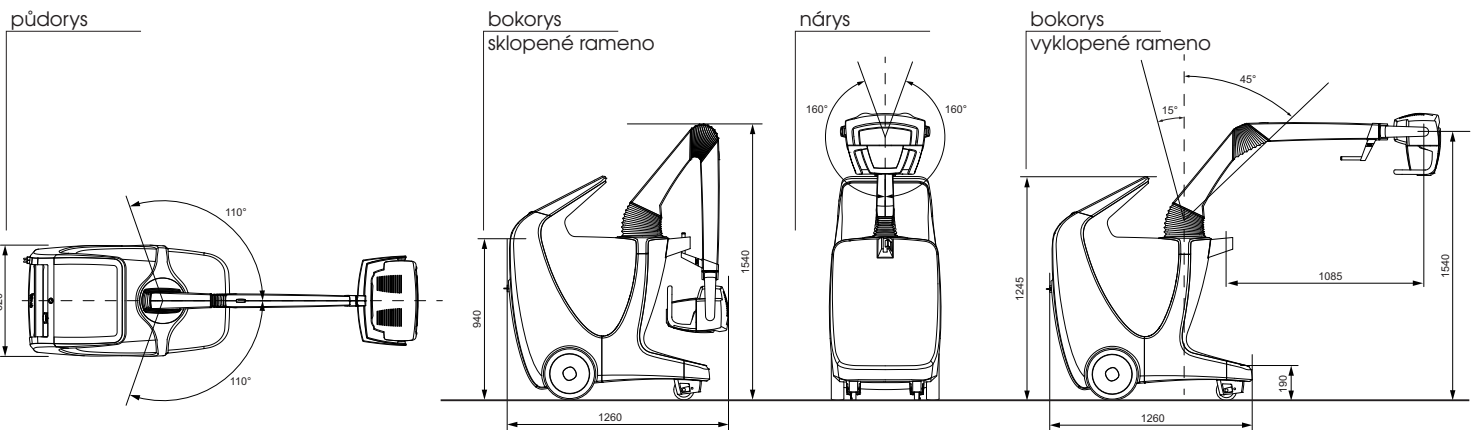
nárys



# DESIGN MOBILNÍHO RENTGENU TECHNICKÝ POSTER



Technický náčrt - (M 1:15, mm)



# DESIGN MOBILNÍHO RENTGENU ERGONOMICKÝ POSTER



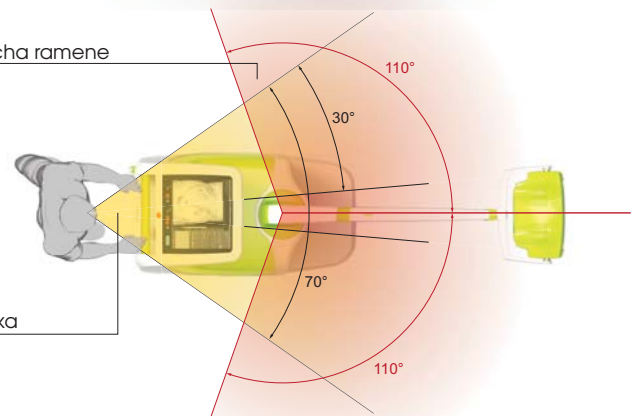
ovládání pohybu přístroje pomocí madla

ustavování rentgenky nad pacienta



vyjímání detektoru

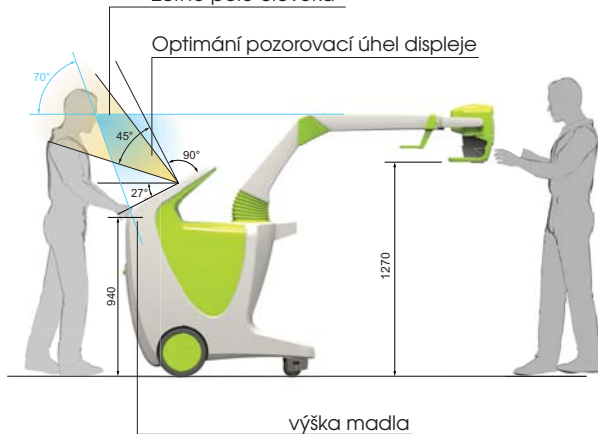
Manipulační plocha ramene



Zorné pole člověka

Zorné pole člověka

Optimální pozorovací úhel displeje



výška madla

Hlavní dotykový displej

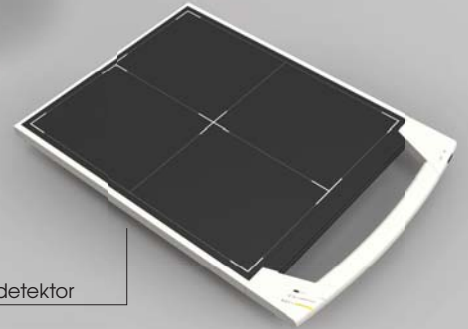
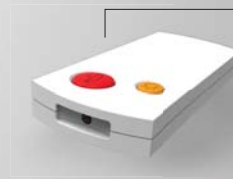




# DESIGN MOBILNÍHO RENTGENU DESIGNÉRSKÝ POSTER



dálkový ovladač spouště



Bezdrátový Flat-panel detektor



hrany  
tvoří spojené plochy obepínající  
a sjednocující celý přístroj.



gumové manžety  
kryjí klouby, a doplňují tvar ramene



barevné řešení







